“An erudite, compelling, insider’s look into the most mind-bending potential of science research.” —*Chicago Tribune*



MICHIO KAKU

BESTSELLING AUTHOR OF *PHYSICS OF THE IMPOSSIBLE*

VISIONS

HOW SCIENCE WILL REVOLUTIONIZE THE 21ST CENTURY



عالم المعرفة
سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت
صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923-1990

270

رؤى مستقبلية

كيف سيغير العلم حياتنا في القرن الواحد والعشرين

تأليف: ميتشيو كاكو
ترجمة: د. سعد الدين خرفان
مراجعة: محمد يونس



عالم المعرفة

سلسلة شهرية يصدرها
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أميركيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أميركية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	15 د.ك
للمؤسسات	25 د.ك

دول الخليج

للأفراد	17 د.ك
للمؤسسات	30 د.ك

الدول العربية

للأفراد	25 دولارا أميركيا
للمؤسسات	50 دولارا أميركيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	50 دولارا أميركيا
للمؤسسات	100 دولارا أميركيا

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص.ب: 28623 ـ الصفاة ـ الرمز البريدي13147
دولة الكويت
الموقع على الإنترنت:
www.kuwait culture.org.kw

ISBN 99906-0-060-0

العنوان الأصلي للكتاب

VISIONS

How Science Will Revolutionize the 21st Century and Beyond

by

Michio Kaku

Oxford University Press (1998)

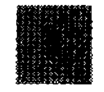
طبع من هذا الكتاب أربعون ألف نسخة

مطابع الوطن ـ الكويت

ربيع الأول ١٤٢٢ ـ يونيو ٢٠٠١

المحتوى

المحتوى



المحتوى

مقدمة

يدور هذا الكتاب حول المستقبل غير المحدود للعلم والتكنولوجيا حيث يركز على مائة العام المقبلة وما بعدها. إن كتابا بمجال مناسب وعمق ودقة لازمين لتلخيص التقدم العلمي السريع والمثير لا يمكن أن يكتب دون حكمة وفراسة العلماء الذين يجعلون هذا المستقبل ممكنا.

وبالطبع لا يمكن لشخص واحد أن يبتكر هذا المستقبل، فهناك ببساطة معرفة متراكمة كثيرة، وهناك أيضا إمكانات عدة واختصاصات متنوعة جدا. والحقيقة أن معظم التنبؤات عن المستقبل قد خابت، لأنها عكست وجهة النظر الضيقة والشاذة لشخص واحد فقط، ولا يصدق هذا الشيء على كتاب «رؤى مستقبلية». فقد أتيحت لي خلال كتابة كتب ومقالات وتعليقات علمية عديدة ميزة نادرة في مقابلة أكثر من ١٥٠ عالما باختصاصات مختلفة على مدى ١٠ سنوات.

وبناء على هذه المقابلات حاولت أن أكون حذرا في تحديد الإطار الزمني الذي يمكن أن يتحقق ضمنه بعض التنبؤات أم لا. ويتوقع

العلماء تحقيق بعض التنبؤات بحدود العام ٢٠٢٠، بينما لن تنجز أخرى حتى وقت أبعد من ذلك، أي من العام ٢٠٥٠ حتى العام ٢١٠٠. ونتيجة لذلك لم تكن كل التنبؤات متساوية، فقد كان بعضها أبعد نظرا، وبالتالي أكثر تخمينا من الأخرى. وبالطبع يجب أن تؤخذ الأطر الزمنية التي حددتها في هذا الكتاب كمؤشر فقط لتعطي القراء شعورا بالموعد المتوقع لبعض التقانات والتوجهات بالظهور.

إن مخطط الكتاب هو على الشكل التالي: في الجزء الأول من (رؤى) ناقشت التطورات المهمة التي تنتظرنا من ثورة الكمبيوتر والتي بدأت منذ مدة تغير شكل الأعمال والاتصالات وأساليب حياتنا، والتي أعتقد أنها ستعطينا يوما القدرة على وضع الذكاء في كل جزء من كوكبنا. وتوجهت في الجزء الثاني نحو الثورة التي يشهدها علم البيولوجيا الجزيئية والتي ستعطينا في النهاية القدرة على تعديل وتخليق أشكال جديدة من الحياة وصنع أدوية ومعالجات جديدة. وركزت في الجزء الثالث على الثورة الكمومية والتي ربما كانت أكثر الثورات الثلاث عمقا والتي ستعطينا التحكم في المادة ذاتها.

المؤلف

الجزء الأول

رؤى مستقبلية

1 الإنسان يسيطر على المادة والحياة والذكاء

منذ ثلاثة قرون كتب إسحق نيوتن «أبدو لنفسي كما لو أنني صبي يلعب على شاطئ البحر. تلفت انتباهه من فينة إلى أخرى حصاة أنعم أو صدفة أجمل من العادية، بينما يمتد محيط الحقيقة العظيم أمام ناظريه دون اكتشاف». في ذلك الحين الذي كان نيوتن ينظر فيه إلى محيط المعرفة الواسع الممتد أمامه كانت قوانين الطبيعة مغلفة بحجاب كثيف من السرية والغموض والخرافة؛ فالعلم ـ كما نعرفه اليوم ـ لم يكن عندئذ موجودا.

كانت الحياة في زمن نيوتن قصيرة وقاسية وشاقة. كان معظم الناس أميين: فلا أحد منهم كان يملك كتابا أو دخل صفا مدرسيا، وكان من النادر أن يغامر أحد منهم بالذهاب أميالا معدودات خارج مسقط رأسه. وكان الناس يمارسون أثناء النهار في الحقول أعمالا تقصم الظهر تحت أشعة الشمس التي لا ترحم. وفي الليل لم تكن هناك أي تسلية أو فسحة تخفف عنهم سوى سكونه. وقد عرف معظم الناس

«هناك ثلاثة محاور رئيسية للعلم في القرن العشرين: الذرة والكمبيوتر والجينات»
هارولد فارموس
مدير المعهد القومي الأمريكي للصحة

«التنبؤ صعب جدا وخاصة عندما يكون حول المستقبل»
يوجي بيرا

بخبرتهم المباشرة الألم الممض للجوع والمرض المقعد والمزمن. كما أن معظمهم لم يكن يعيش أكثر من الثلاثين عاما. ورأى أكثرهم أطفالهم العشرة أو ما يقرب من ذلك يموتون وهم في المهد.

غير أن الحصى والصدفات القليلة المدهشة التي التقطها نيوتن وعلماء آخرون على شاطئ البحر ساعدت على إطلاق سلسلة مثيرة من الأحداث. وحدث تحول عميق في المجتمع البشري. فمع ميكانيكا نيوتن أتت الآلات القوية وفي النهاية المحرك البخاري، وهو القوة المحركة التي أعادت تشكيل العالم حين قلبت المجتمع الزراعي رأسا على عقب، ونشرت المصانع وأدت إلى رواج التجارة وأطلقت الثورة الصناعية، وأدت إلى التوغل في أعماق قارات بكاملها عن طريق السكك الحديدية.

وبحلول القرن التاسع عشر كانت فترة من الاكتشاف العلمي المكثف تمضي على قدم وساق، وساعد التقدم الملحوظ في العلم والطب على انتشال الناس من الفقر المدقع والجهل، وعلى إغناء حياتهم وتسليحهم بالمعرفة وفتح عيونهم على عوالم جديدة، وفي النهاية إطلاق قوى معقدة أسقطت ملاك الأراضي والسلالات الإقطاعية والقنانة والإمبراطوريات الأوروبية.

وبحلول نهاية القرن العشرين كان العلم قد وصل إلى نهاية حقبة، كاشفا أسرار الذرة وجزيء الحياة ومخترعا الكمبيوتر الإلكتروني. وبهذه الاكتشافات الثلاثة الرئيسية التي انطلقت بتأثير ثورة الكم quantum وثورة الـ DNA وثورة الكمبيوتر، تم أخيرا التوصل إلى القوانين الأساسية للمادة والحياة والحوسبة.

إن هذه المرحلة البطولية للعلم تقترب من نهايتها، فقد انتهى عصر للعلم، وبدأت معالم عصر آخر تظهر.

يدور هذا الكتاب حول الحقبة الديناميكية الجديدة للعلم والتكنولوجيا التي تتكشف الآن أمام أعيننا. ويركّز على العلم خلال مائة العام القادمة وما بعد ذلك. وتبشر الحقبة القادمة من العلم بأن تكون أعمق وأشمل وأبعد غورا وأشد تأثيرا من تلك التي سبقتها.

ومن الواضح أننا على عتبة ثورة أخرى: فالمعرفة البشرية تتضاعف مرة كل عشر سنوات وقد خلّف العقد الماضي معرفة علمية أكثر مماخلفه

التاريخ البشري بأكمله. وتتضاعف قدرة الكمبيوتر كل ثمانية عشر شهرا، أما قدرة الإنترنت فهي تتضاعف مرة كل عام، وتتضاعف سلاسل الـ DNA التي يمكننا تحليلها مرة كل عامين. وفي كل يوم تقريبا تبشّرنا العناوين الرئيسية للصحف بتطورات جديدة في مجالات الكمبيوتر والاتصالات والتكنولوجيا واستكشاف الفضاء. وفي أعقاب هذه الثورة التكنولوجية تنقلب صناعات وأساليب حياة بكاملها رأسا على عقب لتؤدي إلى نشوء أخرى. غير أن هذه التغيرات السريعة والمدهشة ليست كمية فقط، إنها آلام المخاض لمولد عصر جديد.

ونحن اليوم ـ مرة أخرى ـ مثل أطفال يمشون على الشاطئ. ولكن المحيط الذي عرفه نيوتن صبيا قد اختفى إلى حد كبير؛ فأمامنا يمتد محيط جديد؛ إنه محيط الإمكانات والتطبيقات العلمية غير المحدودة، معطيا إيانا الإمكان ـ لأول مرة ـ أن نسيطر على قوى الطبيعة وأن نصوغها حسب رغباتنا.

لقد ظللنا خلال معظم التاريخ الإنساني نقف موقف المتفرج على رقص الطبيعة الجميل، ولكننا اليوم على أعتاب عصر جديد لا نعود فيه متفرجين سلبيين على رقص الطبيعة، بل نشارك فيه بشكل إيجابي في تصميم رقصاتها. بأن هذه الفكرة الأخيرة هي الرسالة المحورية لكتابنا هذا. والحقبة التي تتكشف معالمها الآن هي من أكثر العصور إثارة بالنسبة لمن يعيشون فيها، وستسمح لنا بأن نقطف ثمار ألفي عام من العلم. إن عصر الاكتشاف في العلم يقترب من نهايته ليفتح عصرا جديدا، هو عصر السيطرة على الطبيعة.

ظهور اتفاق بين العلماء

كيف سيبدو المستقبل؟ لقد قدم كتاب الخيال العلمي تنبؤات خيالية ضخمة حول العقود القادمة: من تمضية العطلات على كوكب المريخ إلى القضاء على كل الأمراض. وحتى في الصحافة الشعبية تحل في أغلب الأحيان تحيزات ناقد اجتماعي غريب الأطوار محل ما ينعقد عليه إجماع الأوساط العلمية (مثال ذلك أن مجلة نيويورك تايمز خصصت في عام ١٩٩٦

عددا كاملا لموضوع الحياة في مائة العام القادمة. وقد قدم صحافيون وعلماء اجتماع وكتاب ومصممو أزياء وفنانون وفلاسفة أفكارهم. والجدير ملاحظته أنه لم يُستشر عالم واحد).

إن وجهة النظر المطروحة هنا هي أن التنبؤات حول المستقبل التي يقوم بها علماء محترفون أقرب إلى أن تُبنى بشكل أكبر على وقائع المعرفة العلمية من تلك التي يقول بها نقاد اجتماعيون أو حتى علماء من الماضي أبدوا تنبؤاتهم قبل أن تصبح القوانين العلمية الرئيسية معروفة بالكامل. وفي رأيي أن هناك أهمية خاصة لهذا التمييز بين «رؤى» التي تتعلق بإجماع عام بدأ يظهر بين العلماء أنفسهم والتنبؤات في الصحافة الشعبية، والتي تمت حصرا من قبل كتاب وصحافيين وعلماء اجتماع وكتاب الخيال العلمي وآخرين هم مستهلكون للتكنولوجيا بدلا من أولئك الذين ساعدوا في خلقها وتشكيلها. (ويذكّر هذا المرء بقول الأدميرال ويليام ليهي للرئيس ترومان عام ١٩٤٥: «إن هذه أكبر حماقة ارتكبناها... إن القنبلة الذرية لن تفجر أبدا وأنا أتكلم كخبير في المتفجرات». إن الأدميرال شأنه شأن كثير من «المستقبليين» اليوم إنما كان يستبدل تحاملاته الشخصية بإجماع الفيزيائيين الذين كانوا يعكفون على إنتاج القنبلة.

وكباحث فيزيائي أعتقد أن الفيزيائيين كانوا موفقين على الأخص في التنبؤ بالخطوط العريضة للمستقبل. وأنا أعمل مهنيا في أكثر الحقول أساسية في الفيزياء وهي المحاولة لتحقيق حلم أينشتين في إيجاد (نظرية لكل شيء). ونتيجة لذلك فإنني أذكّر دوما بالسبل التي تلامس فيها فيزياء الكم عددا من الاكتشافات الرئيسية التي شكلت القرن العشرين. لقد كان سجل الفيزيائيين في الماضي هائلا: فلقد شاركنا بشكل وثيق بإدخال عدد من الاختراعات الرئيسية (كالتلفزيون والراديو والرادار وأشعة إكس والترانزستور والكمبيوتر والليزر والقنبلة الذرية) وفك شفرة الـ « د. ن. أ» DNA فاتحين أبعادا جديدة في فحص الجسم بأجهزة الأشعة والرنين المغناطيسي بأنواعها وتصميم الإنترنت والشبكة العنكبوتية العالمية www. إن الفيزيائيين ليسوا بأي شكل عرافين يتنبأون بالمستقبل (ولقد كان لنا بالتأكيد نصيب في بعض التنبؤات السخيفة). وبرغم ذلك فمن الصحيح أن بعض الملاحظات الذكية والتبصرات الثاقبة للفيزيائيين الأوائل فتحت حقولا جديدة تماما في تاريخ العلم.

وسيكون هناك بلاشك بعض المفاجآت المدهشة والتغيرات في الهدف والفجوات المحرجة في هذه الرؤية التي نقدمها عن المستقبل، وبالتأكيد سأغفل تقريبا بعض الاكتشافات والاختراعات المهمة في القرن الحادي والعشرين. ولكن بالتركيز على العلاقات المتبادلة بين الثورات العلمية الكبرى الثلاث، وبالتشاور مع العلماء الذين يعملون بجد لتحقيق هذه الثورات وبفحص اكتشافاتهم فإنني آمل أن أتمكن من رؤية وجهة العلم في المستقبل بدقة وتبصر كبيرين.

لقد اكتسبت ميزة نادرة خلال السنوات العشر الماضية ـ بينما كنت أعمل على هذا الكتاب ـ في مقابلة أكثر من ١٥٠ عالما بمن فيهم عدد لا بأس به من الفائزين بجائزة نوبل من خلال إعداد برنامج علمي وطني أسبوعي، ومن خلال كتابة تعليقات علمية. إن هؤلاء العلماء يعملون من دون كلل في خنادقهم، هم الذين يضعون أسس القرن الحادي والعشرين، ويفتح العديد منهم منافذ وآفاقا جديدة للاكتشاف العلمي. لقد تمكنت في هذه المقابلات وأيضا من خلال عملي وبحثي الخاصين من التوصل إلى رؤية شاملة استنادا إلى ما طرح فيها، وإلى نطاق واسع وتنوع من الخبرة والمعرفة أتيح لي. ولقد فتح هؤلاء العلماء ـ بكل كرم ـ مكاتبهم ومختبراتهم لي وشاركوني بأكثر أفكارهم العلمية حميمية. ولقد حاولت في هذا الكتاب أن أرد هذا الجميل بالتقاط الإثارة والحيوية الخام لمكتشفاتهم العلمية لأنه من الضروري بث رومانسية وإثارة العلم في الجمهور، وخاصة في الشباب ، إذا كان للديموقراطية أن تبقى قوة تنبض وتخفق حيوية في عالم يزداد طابعه التكنولوجي ويزداد الإنسان فيه حيرة.

والواقع أن هناك إجماعا شبه تام بدأ يظهر بين أولئك المشتغلين بالبحث العلمي حول كيفية تطور المستقبل. ولأن قوانين نظريات الكم والكمبيوتر والبيولوجيا الجزيئية قد أنجزت بشكل جيد فمن الممكن للعلماء أن يتنبأوا بشكل عام بطرق التقدم العلمي في المستقبل (وهذا هو السبب الرئيسي في أن التنبؤات التي قدمت هنا هي ـ على ما أعتقد ـ أكثر دقة من تلك التي تمت في الماضي).

ومايظهر هو التالي:

الأعمدة الثلاثة للعلم: المادة والحياة والعقل

تشكل هذه العناصر الثلاثة أعمدة العلم الحديث، وعلى الأرجح سيسجل المؤرخون أن قمة الإنجاز العلمي في القرن العشرين كان الكشف عن العناصر الأساسية التي تعتمد عليها هذه الأعمدة الثلاثة، والتي تمثلت في تحطيم نواة الذرة، وفك شفرة نواة الخلية وتطوير الكمبيوتر الإلكتروني. وبإتمام فهمنا الأساسي للمادة والحياة تقريبا فإننا نشهد إغلاق أحد الفصول الكبرى في تاريخ العلم. (ولا يعني هذا أن كل القوانين لهذه الأعمدة الثلاثة معروفة بالكامل وإنما الأكثر أساسية منها فقط، وعلى سبيل المثال فرغم أن قوانين الكمبيوتر الإلكتروني معروفة إلا أن بعض القوانين الأساسية للذكاء الاصطناعي والعقل هي التي نعرفها فحسب.

لقد كانت ثورة الكم أولى ثورات القرن العشرين وأكثرها أساسية، وهي التي ساعدت بعد ذلك على زرع بذور الثورتين العلميتين الكبيرتين الأخريين وهما الثورة البيوجزيئية وثورة الكمبيوتر.

ثورة الكم

منذ زمن سحيق تساءل الناس عن طبيعة المادة التي صنع منها العالم، وقد اعتقد اليونان أن الكون صنع من عناصر أربعة هي: الماء والهواء والتراب والنار. واعتقد الفيلسوف ديموقريطس أنه من الممكن تحطيم هذه العناصر الأربعة إلى أجزاء أصغر دعاها «الذرات». ولكن المحاولات الساعية لشرح كيف تمكنت الذرات من خلق هذا التنوع الكبير والمدهش للمادة الذي نراه في الطبيعة فشلت دوما. وحتى نيوتن الذي اكتشف القوانين الكونية التي فسرت حركة الكواكب والأقمار احتار في شرح الطبيعة المحيّرة للمادة.

لقد تغير كل هذا مع ميلاد نظرية الكم quantum theory عام ١٩٢٥، والتي أطلقت موجة مد عارمة من الاكتشاف العلمي استمرت في الارتفاع دون توقف إلى الآن. لقد زوّدتنا ثورة الكم الآن بوصف كامل تقريبا للمادة، سامحة لنا بأن نصف هذا التعدد الظاهري اللامتناهي للمادة، الذي نراه

معروضا حولنا إلى عدد قليل من الجسيمات بالطريقة ذاتها التي تنسج بها سجادة غنية بالرسوم من بضعة خيوط ملونة.

لقد أرجعت نظرية الكم التي توصل إليها (أرفين شرودنجر) و(فيرنر هايزنبرج) وآخرون عديدون سر المادة إلى بضع مسلمات: أولاها أن الطاقة ليست مستمرة كما اعتقد القدماء، ولكنها تحدث في حزم متقطعة تدعى «الكم» أو«الكوانتم» (الفوتون على سبيل المثال هو كم أو حزمة من الضوء). وثانيتها أن للجسيمات تحت الذرية صفات الجسيمات والموجات في آن معا وتخضع لمعادلة محددة جيدا هي معادلة شرودنجر الموجية الشهيرة التي تحدد إمكان وقوع أحداث معينة. وبهذه المعادلة يمكننا ـ رياضيا ـ التنبؤ بخواص مواد متنوعة جدا قبل تصنيعها في المختبر. وكان النموذج القياسي Standard Model الذي يمكننا من التنبؤ بمواصفات كل شيء من الكواركات تحت الذرية الضئيلة إلى النجوم الضخمة في الفضاء الخارجي هو ذروة ما أنجزته نظرية الكم.

وفي القرن العشرين مكنتنا نظرية الكم من فهم المادة التي نراها حولنا، أما في القرن الحادي والعشرين فقد تفتح أمامنا الباب إلى الخطوة التالية وهي القدرة على التحكم في المادة وتصميم أشكال جديدة منها حسب رغبتنا تقريبا.

ثورة الحاسوب (الكمبيوتر)

كانت أجهزة الكمبيوتر في الماضي غرائب رياضية: كانت آلات سمجة غريبة الشكل تتألف من كتلة معقدة من الدواليب والرافعات والمسننات، وخلال الحرب العالمية الثانية استبدلت الأنابيب أو الصمامات المفرغة بالحواسيب الميكانيكية، ومع ذلك فقد كانت هذه أيضا ضخمة الحجم تملأ غرفا كاملة بصفوف من آلاف الأنابيب المفرغة من الهواء.

لقد حدث التحول المهم عام ١٩٤٨ عندما اكتشف علماء في مختبرات شركة «بيل» الترانزستور الذي جعل الكمبيوتر الحديث ممكنا. وبعد عقد من هذا اكتُشف الليزر الضروري للإنترنت ولطريق المعلوماتية السريع، وكلاهما من أجهزة ميكانيكا الكم.

وبالنسبة لنظرية الكم يمكننا فهم الكهرباء على أنها حركة إلكترونات تشبه تماما تجمع قطرات الماء لتشكل نهرا، ولكن أحد الأمور المدهشة التي فاجأتنا بها نظرية الكم هي وجود (فقاعات أو ثقوب) في التيار تناظر وجود فراغات في حالات إلكترونية تعمل كما لو كانت إلكترونات مزودة بشحنة موجبة. وتسمح حركة التيار من الثقوب والإلكترونات للترانزستورات بتكبير إشارة كهربائية ضعيفة وهو ما يشكل أساس الإلكترونيات الحديثة.

ويمكن اليوم حشر عشرات الملايين من الترانزستورات في مساحة بحجم ظفر الأصبع. وستتغير أنماط حياتنا في المستقبل بشكل دائم عندما تتوافر الشرائح الدقيقة بكثرة، بحيث توزع الأنظمة الذكية بالملايين في كل الأنحاء المحيطة بنا.

في الماضي لم يكن بإمكاننا سوى التعجب لظاهرة الذكاء النادرة، أما في المستقبل فسنكون قادرين على التحكم فيها حسب رغباتنا.

الثورة البيوجزيئية

تأثر العديد من البيولوجيين تاريخيا بنظرية (الحيوية) (أي أن هناك قوة حياة خفية أو جوهرا يكسب الحياة للأشياء الحية) ولقد تحدى شرودنجر في كتابه عام ١٩٤٤ «ماهي الحياة؟» هذه النظرية وتجرأ على الادعاء بأنه يمكن تفسير الحياة «بشفرة وراثية» مكتوبة على جزيئات في الخلية. لقد كانت فكرة تفسير الحياة باستخدام نظرية الكم جريئة حقا.

وقد تمكن جيمس واطسون وفرانسيس كريك في النهاية بوحي من كتاب شرودنجر أن يبرهنا على صحة حدسه باستخدام التصوير بأشعة إكس البلورية. وبتحليل نمط أشعة إكس المشتتة من جزيء «د. ن. أ» استطاعا أن يعيدا بناء البنية الذرية المفصلة لهذا الجزيء، وأن يميزا الطبيعة الحلزونية المزدوجة له. وبما أن نظرية الكم تعطينا أيضا الزوايا الرابطة وقوى الربط بين الذرات بدقة فإنها تمكننا أيضا من تحديد موضع كل الجزيئات فرادى تقريبا في الشفرة الوراثية لفيروس معقد مثل الـ HIV. وستسمح لنا تكنولوجيا البيولوجيا الجزيئية أن نقرأ الشفرة

الوراثية للحياة كما لو كنا نقرأ كتابا. وقد فُكت - مسبقا - شفرة الـ «د. ن. أ». بالكامل لكائنات حية عدة كالفيروسات والبكتيريا وحيدة الخلية والخمائر جزيئا فجزيئا.

وستُحل شفرة الجينوم البشري كاملا بحدود عام ٢٠٠٥ معطية إيانا «دليل تشغيل» للكائن البشري. وسيجهز هذا المسرح للطب والعلم في القرن الحادي والعشرين، وبدلا من مراقبة رقص الحياة ستعطينا الثورة البيوجزيئية في النهاية قدرة خارقة على التحكم في الحياة حسب إرادتنا تقريبا.

من متفرجين محايدين إلى مصممين نشطين للطبيعة

ادعى بعض المعلقين بعد رؤية التطورات التاريخية في خلال العلم القرن الماضي أننا نرى اندثار المشروع العلمي. ويكتب جون هورجان في كتابه «نهاية العلم»: «إذا كان المرء يؤمن بالعلم فيجب عليه أن يقبل إمكان - أو حتى احتمال - انتهاء الحقبة العظيمة من الكشف العلمي؛ فالمزيد من البحث العلمي قد لا يسفر عن ثورات واكتشافات كبيرة بل مردود متناقص وهزيل».

ومن مفهوم محدود فقط فإن هورجان على حق. لقد كشف العلم الحديث - من دون شك - عن القوانين الأساسية التي تعتمد عليها معظم فروع العلم: نظرية الكم عن المادة، ونظرية أينشتين عن الزمان - مكان، ونظرية الانفجار الأعظم الفلكية، ونظرية داروين في التطور، والأساس الجزيئي للـ «د. ن. أ» والحياة. وما عدا بعض الاستثناءات المهمة (مثل تحديد طبيعة الوعي والبرهان على أن نظرية الأوتار الفائقة الدقة(*)، Super Strings theory وهي المجال الذي أختص به، هي نظرية المجال الموحد المزعومة)، فمن المحتمل أن تكون الأفكار العظيمة للعلم قد اكتشُفت إلى حد بعيد.

(*) نظرية الأوتار الفائقة الدقة: نظرية في مجال الفيزياء تفترض أن كل شيء في الكون من جزيئات وقوى وربما حتى متصل الزمان / المكان ذاته يتألف من أوتار دقيقة تخضع لجهد شديد متذبذب، وتدور في حركة دوامة في حيز عشاري الأبعاد. ويعكف عدد من معاهد الأبحاث منذ فترة على دراسة هذه النظرية، لاسيما في الولايات المتحدة (المراجع).

وبالمثل فإن حقبة الاختزال، أي اختزال أي شيء إلى عناصره الأصغر، قد شارفت على الانتهاء. لقد نجح الاختزال بشكل مدهش في القرن العشرين وكشف عن أسرار المادة وجزيء «د. ن. أ» والدوائر المنطقية للحاسوب. ولكن قد يكون الاختزال قد استنفد مساره غالبا. ومع ذلك فإن هذه مجرد بداية قصة العلم. إن هذه العلامات البارزة على طريق العلم تشير بالتأكيد إلى قطيعة مهمة مع الماضي القديم عندما فسرت الطبيعة من خلال منظور القوة الحيوية والتأمل الباطني والروحانية، ولكنها تفتح الباب فقط أمام حقبة جديدة تماما للعلم.

وسيشهد القرن الحادي والعشرون ثورة علمية أبعد تأثيرا بكثير حين نقوم بالتحول من كشف أسرار الطبيعة لنصبح سادتها. ويصف شيلدون جلاشو الحائز جائزة نوبل في الفيزياء هذا الفارق بشكل استعاري عندما يروي قصة زائر يُدعى آرثر يأتي من كوكب آخر ويلتقي سكان الأرض لأول مرة:

«آرثر أجنبي ذكي من كوكب بعيد يصل إلى ساحة واشنطن في مدينة نيويورك ويراقب شخصين عاطلين يلعبان الشطرنج. وبفضوله يعطي آرثر نفسه مهمتين: أن يتعلم قوانين اللعبة، وأن يصبح أستاذا عظيما فيها. وعن طريق المراقبة الدقيقة للحركات يتمكن آرثر تدريجيا من إعادة بناء قواعد اللعبة: كيف يتقدم البيدق وكيف تستولي الملكة (الوزير) على الحصان، وكيف يكون الملك مكشوفا. ومع ذلك فإن مجرد معرفة القوانين لا يعني أن آرثر قد أصبح سيدا عظيما في هذه اللعبة». كما يضيف جلاشو: «إن المهمتين على القدر نفسه من الأهمية، فالأولى لا غنى عنها والثانية أكثر (أساسية) وكلتاهما تمثل تحديات ضخمة للذكاء البشري».

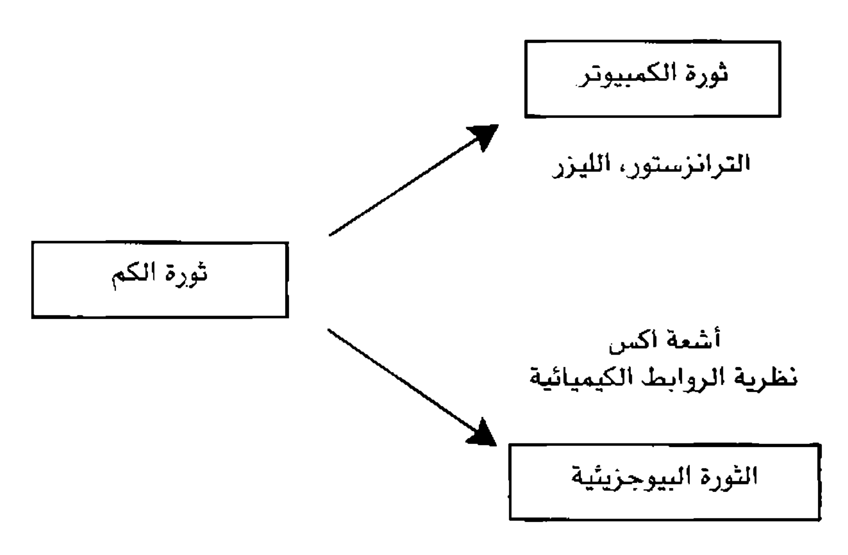
وبمعنى ما فإن العلم حلَّ في النهاية شفرة عدد من (قوانين الطبيعة) الأساسية، ولكن هذا لا يعني أننا أصبحنا سادة عظماء عليها. وبالمثل فإن رقص الجسيمات الأولية داخل أعماق النجوم وأنغام جزيئات «د. ن. أ» وهي تتلوى وتنبسط داخل أجسامنا قد كشف عنه إلى حد بعيد، ولكن هذا لا يعني أننا أصبحت لدينا القدرة على تصميم الحياة.

وفي الواقع فإن نهاية القرن العشرين، التي أنهت الطور العظيم الأول في تاريخ العلم، فتحت الباب فقط للتطورات المثيرة في القرن الحادي والعشرين.

نحن الآن في سبيلنا إلى التحول من لاعبي شطرنج هواة إلى أساتذة كبار، ومن مراقبين للطبيعة إلى مصممين لها.

من الاختزال إلى التضافر

وبالمثل فإن هذا يخلق توجها جديدا في أسلوب نظر العلماء إلى فروعهم العلمية، لقد أعطى التوجه الاختزالي في الماضي مردودا جيدا مرسيا، في نهاية المطاف، أسس الفيزياء الحديثة والكيمياء والبيولوجيا، وفي قلب هذا النجاح كان اكتشاف نظرية الكم التي ساعدت على تفجر الثورتين الأخريين.



ولدت ثورة الكم وثورة الكمبيوتر والثورة البيوجزيئية من خلال الترانزستور والليزر وأشعة إكس البلورية ونظرية الروابط الكيميائية.

ومع أن نظرية الكم ساعدت على إطلاق الثورتين الأخريين في الخمسينيات إلا أن هاتين الثورتين نضجتا ونمتا منذ ذلك الوقت بمعزل عن الفيزياء، وكل منهما بمعزل عن الأخرى إلى حد بعيد. لقد كانت كلمة

السر هي الاختصاص، حيث انغمس العلماء على نحو متزايد ضمن فروعهم التخصصية الضيقة متجاهلين - باستعلاء - التطورات في الميادين الأخرى. ولكن ربما تكون فترة الازدهار بالنسبة للاختزال أو التخصص الدقيق قد ولت. وعلى ما يبدو فقد صودفت عقبات قاهرة لا يمكن حلها بطريقة (الاختزال) البسيطة. ويبشر هذا بفترة جديدة تتميز بالتضافر بين الثورات الأساسية الثلاث. وهذا هو الموضوع الرئيسي الثاني لهذا الكتاب.

فالقرن الحادي والعشرون - خلافا للقرون الماضية - سيتميز بالتضافر والتلاقح بين الحقول الثلاثة، مما يعد إيذانا بنقطة تحول مهمة في تاريخ تطور العلم. وسيتسارع هذا التلاقح بين الثورات الثلاث بشدة، مما سيغني تطور العلم معطيا إيانا قدرة لا سابق لها على التحكم في المادة والحياة والذكاء.

والواقع أنه من الصعب أن تكون عالما باحثا في المستقبل، دون أن يكون لديك بعض المعرفة العلمية في الحقول الثلاثة هذه. ومنذ مدة يجد العلماء الذين لا يمتلكون بعض الفهم لهذه الثورات الثلاث أنفسهم في قصور تنافسي واضح.

إن العلاقة الجديدة بين الثورات الثلاث علاقة بالغة الديناميكية، وغالبا عندما يتم الوصول إلى إشكال في مجال معين فإن تطورا غير متوقع تماما في حقل ثانٍ يحتوي عادة على الحل. وعلى سبيل المثال، ما إن يئس البيولوجيون من إمكان حل شفرة ملايين الجينات التي تحوي مخطط الحياة في المستقبل، فإن سيل الجينات المكتشفة حديثا في مختبراتنا قد حفّز - إلى حد كبير من قبل - تطورا في مجال آخر: الزيادة الهائلة في قدرة الحاسوب والتي تجعل عملية ترتيب الجينات آلية وميكانيكية. وبالمثل ستصطدم شرائح الحاسوب السيليكونية بعقبة عندما تصبح سمجة جدا بالنسبة لكمبيوتر القرن الحادي والعشرين. ولكن التطورات الجديدة في بحوث جزيء «د. ن. أ» تجعل من الممكن تشكيل بنية جديدة للكمبيوتر تتم فيها عملياته على جزيئات عضوية. ولذا فإن الاكتشافات في حقل ما تغذي وتخصب الاكتشافات في حقول مستقلة أخرى تماما، فالكل هو أكبر من مجرد مجموع أجزائه.

إحدى النتائج لهذا التضافر الوثيق بين هذه الثورات هي أن السرعة الثابتة للاكتشاف العلمي ستتسارع بمعدلات متزايدة باستمرار.

ثروة الأمم

سيكون لتسارع العلم والتكنولوجيا في القرن القادم تأثيرات واسعة حتما في ثروة الأمم ومستوى معيشتها. وفي القرون الثلاثة الماضية تراكمت الثروة عادة لدى الأمم التي امتلكت مصادر طبيعية غنية، أو التي تراكمت لديها كميات ضخمة من رأس المال. ويتّبع صعود القوى العظمى في أوروبا في القرن التاسع عشر والولايات المتحدة في القرن العشرين هذا المبدأ الكلاسيكي المعهود.

وكما أكد ليستر ثورو العميد السابق لكلية سلون للإدارة في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا فسيكون هناك انتقال تاريخي في الثروة في القرن الحادي والعشرين بعيدا عن الأمم التي تمتلك المصادر الطبيعية ورأس المال. وبالطريقة ذاتها التي تولّد فيها الانزياحات في الصفائح التكتونية للأرض بواسطة هزات أرضية قوية فإن هذا الانزياح السيزمي سيعيد توزيع القوى على الأرض. ويكتب ثورو «في القرن الحادي والعشرين فإن القدرة العقلية والخيال والابتكار وتنظيم التكنولوجيات الحديثة هي العناصر الإستراتيجية الأساسية». وفي الواقع فإن العديد من الدول التي تمتلك مصادر طبيعية بوفرة ستجد ثروتها تنخفض بشدة لأن المواد في سوق المستقبل ستكون رخيصة وستكون التجارة عالمية والأسواق مرتبطة إلكترونيا. وقد هبطت أسعار المواد الأولية حتى الآن بحدود ٦٠٪ من السبعينيات حتى التسعينيات. وبحسب تقدير ثورو فإنها ستهبط بنسبة ٦٠٪ أخرى بحدود عام ٢٠٢٠. وحتى رأس المال ذاته سيتحول إلى بضاعة تنتقل خلال العالم بسرعة إلكترونيا. وفي القرن الحادي والعشرين ستزدهر دول عدة تفتقر إلى المصادر الطبيعية لأنها وضعت أولوياتها في التكنولوجيا التي يمكن أن تعطيها ميزة تنافسية في السوق العالمية. ويؤكد ثورو «أن المعارف والمهارات تقف اليوم وحدها كمصدر وحيد أفضلية المقارنة».

ونتيجة لذلك فقد وضعت بعض الأمم لوائح بالتكنولوجيات الرئيسية التي تستخدم كمحركات للثروة والازدهار في القرن القادم. وقد أُلفت لائحة نموذجية عام ١٩٩٠ من قبل وزارة الصناعة والتجارة العالمية في اليابان. وتحتوي هذه القائمة على:

- الإلكترونيات الدقيقة
- التكنولوجيا الحيوية
- صناعات علم المواد الحديثة
- الاتصالات
- صناعة الطائرات المدنية
- الإنسان الآلي والماكينات التي تدار ذاتيا
- الكمبيوتر (البرمجيات والتجهيزات)

ومن دون أي استثناء فإن لكل واحدة من التكنولوجيات المذكورة التي ستقود القرن الحادي والعشرين جذورا عميقة في ثورات الكم والكمبيوتر وجزيء الـ «د. ن. أ».

إن النقطة المهمة هنا هي أن هذه الثورات العلمية الثلاث ليست فقط المفتاح إلى التقدم العلمي في القرن الحادي والعشرين، وإنما هي أيضا المحركات الديناميكية للثروة والازدهار (فقد تصعد الدول أو تهبط نتيجة لقدرتها على السيطرة على هذه الثورات الثلاث). وفي أي نشاط هناك خاسرون ورابحون، وسيكون الرابحون هم الأمم التي تعي كاملا الأهمية الحيوية لهذه الثورات العلمية الثلاث. أما أولئك الذين يهزأون بقدرة هذه الثورات فقد يجدون أنفسهم مهمشين في السوق العالمية للقرن الحادي والعشرين.

الأطر الزمنية للمستقبل

من الضروري - من أجل وضع تنبؤات حول المستقبل - فهم الإطار الزمني الذي يُناقَش، لأنه من الواضح أن تكنولوجيا مختلفة ستتضح عند أزمنة مختلفة. وتقع الأطر الزمنية للتنبؤات التي قدمت في (كتابنا) ضمن فئات ثلاث: التكنولوجيا والاكتشافات الكبرى التي ستتطور بين وقتنا هذا

والعام٢٠٢٠. وتلك التي ستتطور بين ٢٠٢٠ و ٢٠٥٠. وتلك التي ستظهر بين ٢٠٥٠ و نهاية القرن الحادي والعشرين. (ليست هذه الأطر أطرا زمنية مطلقة، ولكنها تمثل فقط الفترة العامة التي ستصل فيها تكنولوجيا وعلوم معينة إلى مرحلة النضج).

حتى العام ٢٠٢٠

يتنبأ العلماء بانفجار لم يسبق له مثيل في النشاط العلمي من الآن وحتى العام٢٠٢٠. وفي تكنولوجيتين رئيسيتين هما قوة الكمبيوتر وتسلسل الـ «د ن أ» سنرى صناعات بأكملها تصعد وتهبط على أساس تطورات علمية أخاذة. ومنذ الخمسينيات تطورت قدرة الكمبيوتر بعامل يقارب ١٠ بلايين. الحقيقة أنه بما أن قدرة الكمبيوتر وتسلسل «د. ن. أ» يتضاعفان مرة كل عامين تقريبا، فيمكن للمرء أن يحسب الإطار الزمني التقريبي الذي ستحدث خلاله اكتشافات علمية عدة. ويعني هذا أن التنبؤات حول مستقبل الكمبيوتر والتكنولوجيا الحيوية يمكن حسابها كميا بدقة إحصائية معقولة حتى عام ٢٠٢٠.

وبالنسبة للكمبيوتر يحسب معدل النمو الهائل كميا بواسطة قانون مور الذي ينص على أن طاقة الكمبيوتر تتضاعف مرة تقريبا كل ثمانية عشر شهرا (وضع هذا القانون لأول مرة عام ١٩٦٥ من قبل جوردن مور أحد مؤسسي شركة انتيل، وهو ليس قانونا علميا بالمعنى نفسه قوانين نيوتن، ولكنه قاعدة تجريبية تنبأت بذكاء بتطور قدرة الكمبيوتر خلال عقود عدة). ويحدد قانون مور بدوره مصير مؤسسات الكمبيوتر التي تقدر ببلايين عدة من الدولارات والتي تبني تصوراتها وخطوط إنتاجها في المستقبل على أساس توقع نمو مستمر. وبحلول عام ٢٠٢٠ ستكون المعالجات الدقيقة ربما برخص ورق المسوّدات، وستتوزع بالملايين في البيئة المحيطة، مما يتيح لنا وضع أنظمة ذكية في كل مكان. وسيغير هذا كل شيء من حولنا بما في ذلك طبيعة التجارة وثروة الأمم والطريقة التي نتصل ونعمل ونلعب ونعيش بها. وسيقدم لنا هذا بيوتا وسيارات وتلفزيونات وثيابا ومجوهرات وأموالا ذكية.

وسوف نتكلم مع أجهزتنا كما أنها سترد علينا، ويتوقع العلماء أيضا أن تصل الإنترنت الكون بأكمله بالأسلاك، وستتطور إلى غلاف يتكون من ملايين الشبكات خالقة «كوكبا ذكيا». وستصبح الإنترنت «المرآة السحرية» التي تظهر في القصص الخرافية والتي تستطيع أن تتحدث بحكمة البشر.

وبسبب التطورات الثورية في قدرتنا على النقش على شرائح سيليكونية تزداد صغرا على نحو مطرد من الترانزستورات يتوقع العلماء أن يستمر هذا التقدم لتصنيع حواسيب أقوى وأحدث حتى عام ٢٠٢٠. وعندها ستتغلب مرة أخرى القوانين الصارمة لفيزياء الكم، وسيكون حجم عناصر الشريحة الدقيقة ـ عند ذلك ـ صغيرا جدا، وفي مجال حجم الجزيئات تقريبا بحيث تسيطر التأثيرات الكمية حتما وينتهي العصر الأسطوري للسيليكون.

وسيكون نمو منحنى التكنولوجيا الحيوية مدهشا أيضا في هذه الفترة. وفي البحث البيوجزيئي فإن إدخال الكمبيوتر والإنسان الآلي لأتمتة عملية تسلسل الـ «د. ن. أ» كانت وراء القدرة الملحوظة على حل شفرة الحياة، وستستمر هذه العملية دون توقف حتى عام ٢٠٢٠ تقريبا حتى يُكشف عن شفرة «د. ن. أ» لآلاف الكائنات الحية بالكامل.

وبحلول ذلك الوقت فقد يكون من الممكن لأي شخص على سطح الأرض أن يخزن شفرة الـ «د. ن.أ» الخاصة به على قرص مدمج CD، وعندها ستكون لدينا موسوعة الحياة.

وسيكون لهذا معان عميقة في الطب والبيولوجيا. وسيتم التخلص من عدد من الأمراض الوراثية عن طريق حقن خلايا الناس بالجين الصحيح. ولأن السرطان اكتُشف الآن على أنه سلسلة من التحولات الجينية فقد يكون من الممكن أخيرا ـ علاج أصناف عدة من السرطانات دون الحاجة إلى جراحة واسعة أو معالجة كيميائية. وبالمثل فإن عددا من الكائنات الدقيقة التي تسبب الأمراض المعدية ستقهر عن طريق البقع الجزيئية الضعيفة في جهاز مناعتها وخلق وسائط تهاجم هذه البقع الضعيفة. وستتقدم معرفتنا الجزيئية بتطور الخلية بحيث نتمكن من تربية أعضاء كاملة في المعمل بما في ذلك الكلى والكبد.

من ٢٠٢٠ حتى ٢٠٥٠

إن التنبؤ بالنمو السريع في طاقة الكمبيوتر وتسلسل الـ «د. ن. أ» من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ خادع إلى حد ما، إذ إن الاثنين مدفوعان بتكنولوجيات معروفة، فطاقة الكمبيوتر مدفوعة بحشر عدد متزايد من الترانزستورات على معالجات دقيقة يدفع استخدام الكمبيوتر وتسلسل الـ «د. ن. أ». ومن الواضح أن هذه التكنولوجيات لا يمكن أن تستمر بالنمو رأسيا بشكل لا نهائي. وستصطدم عاجلا أو آجلا باختناق ما. وبحدود عام ٢٠٢٠ سيصادف كلاهما عقبات ضخمة. وبسبب محدودية تكنولوجيا شريحة السيليكون سنضطر أخيرا إلى ابتكار تكنولوجيات جديدة لم تُكتشف أوتُختبر إمكاناتها بعد، من أجهزة الكمبيوتر البصرية إلى الحواسيب الجزيئية إلى كمبيوتر الـ «د. ن. أ» والكمبيوتر الكمي. ويجب تطوير تصاميم مختلفة جذريا مبنية على نظرية الكم يحتمل أن تؤثر في عملية التطور في علم الكمبيوتر. وفي النهاية فإن سيطرة المعالج الدقيق ستنتهي وستسيطر نماذج جديدة من الأجهزة الكمية أو المبنية على نظرية الكم.

وإذا أمكن التغلب على هذه الصعوبات في تكنولوجيا الكمبيوتر فقد تؤشر الفترة من٢٠٢٠ وحتى٢٠٥٠ إلى الدخول إلى سوق لتكنولوجيا من نوع مختلف تماما، مبنية على تحكم لإنسان آلي حقيقي يفهم لغة البشر ويدرك الأجسام في بيئته ويتحكم فيها ويتعلم من أخطائه ويتمتع بنوع من الحس السليم والتمييز. ومن المحتمل أن يغير هذا التطور علاقاتنا بالآلات إلى الأبد.

وبالمثل فستواجه التكنولوجيا الحيوية مجموعة جديدة من المشاكل بحدود عام ٢٠٢٠. وسيفيض المجال بملايين الجينات التي لا تُعرف غالبا وظائفها الأساسية. وحتى قبل العام ٢٠٢٠ سيتحول التركيز بعيدا عن تسلسل الـ «د.ن.أ» إلى فهم الوظائف الأساسية لهذه الجينات - وهي عملية لا يمكن حوسبتها - وسيتحول إلى فهم أمراض وخصائص متعددة الجينات، أي تلك التي تشمل تفاعلا متبادلا معقدا بين عدد من الجينات. إن هذا التحول إلى الأمراض متعددة الجينات قد يثبت أنه المفتاح لحل

بعض أكثر الأمراض المزمنة التي تواجهها الإنسانية إلحاحا ، بما في ذلك أمراض القلب والتهاب المفاصل وأمراض المناعة الذاتية وانفصام الشخصية وما شابهها، ويمكنه أيضا أن يؤدي إلى استنساخ البشر وعزل جينات العمر الشهيرة التي تتحكم في عملية تقدم السن لدينا، سامحة لنا بأن نمد من فترة حياة الإنسان.

وفيما بعد ٢٠٢٠ نتوقع أيضا أن تعطي بعض التكنولوجيات الجديدة المدهشة التي تختمر في مختبرات الفيزياء ثمارها من الأجيال الجديدة من الليزرات إلى أجهزة التلفزيون المسطحة ثلاثية الأبعاد إلى الاندماج النووي. وقد تجد الموصلات الفائقة، التي تعمل عند درجة الحرارة العادية، تطبيقات تجارية وتولّد (ثورة صناعية ثانية)، وستعطينا نظرية الكم القدرة على تصنيع آلات بحجم الجزيئات، وبالتالي تقدم نوعا جديدا تماما من الآلات بمواصفات لم تعرف من قبل تدعى النانو تكنولوجي (أو تكنولوجيا التصغير). وفي النهاية قد نستطيع بناء محركات صاروخية أيونية قد تجعل السفر بين النجوم يوما ما أمرا شائعا .

من ٢٠٥٠ حتى ٢٠١٠ وما بعدها

وفي النهاية يقدم (كتابنا) تنبؤات حول فتوحات في العلم والتكنولوجيا من ٢٠٥٠ إلى مطلع القرن الثاني والعشرين. وبرغم أن أي تنبؤات لها هذا البعد في المستقبل غامضة بالضرورة، إلا أنها فترة يحتمل أن تسيطر عليها تكنولوجيات جديدة عدة. فقد تمتلك أجهزة الإنسان الآلي تدريجيا درجة من (الإدراك الذاتي) والوعي بنفسها . ويمكن أن يسبب هذا زيادة كبيرة في استخدامها في المجتمع حيث يمكنها أن تتخذ قرارات مستقلة وأن تعمل كسكرتيرات وسعاة ومساعدين وخدم. وبالمثل ستتقدم ثورة الـ «د. ن. أ» إلى النقطة التي يمكن عندها للعاملين في الجينات أن يبتكروا أنواعا جديدة من الكائنات العضوية، بما في ذلك النقل ليس لبضعة جينات بل للمئات منها، متيحة لنا أن نزيد من إمدادات غذائنا وتحسين صحتنا وعقاقيرنا . وقد تعطينا أيضا القدرة على تصميم أشكال جديدة من الحياة وأن نكيّف التكوين الجسدي وربما العقلي لأطفالنا، الأمر الذي يثير بدوره مجموعة من المسائل الأخلاقية.

وسيكون تأثير نظرية الكم قويا أيضا في القرن الحادي والعشرين، وخاصة فيما يتعلق بإنتاج الطاقة: قد نتمكن من رؤية بدايات الصواريخ التي يمكنها أن تصل إلى النجوم القريبة منا وخطط لتشكيل المستعمرات الأولى في الفضاء.

ويرى بعض العلماء تقاربا أكبر للثورات الثلاث بعد عام ٢١٠٠ عندما تقدم لنا نظرية الكم دوائر ترانزستور وآلات كاملة بحجم الجزيئات، متيحة لنا أن ننسخ النماذج العصبية للدماغ على كمبيوتر، وخلال هذه الحقبة سيفكر العلماء جديا في مد فترة الحياة عن طريق تربية أجسام وأعضاء جديدة بوساطة التحكم في تشكيلتنا الجينية، أو حتى في النهاية بالاندماج مع مخلوقاتنا الجديدة.

نحو حضارة كونية

بمواجهة ثورة علمية وتكنولوجية بهذا الحجم المذهل يصرح بعض العلماء بأننا ذهبنا بعيدا جدا وسريعا جدا، وأن عواقب اجتماعية غير منظورة ستنجم عن هذه الثورات العلمية. وسأحاول أن أعرض لهذه الأسئلة والاهتمامات المشروعة بتمحص حذر للنتائج الاجتماعية الحساسة لهذه الثورات القوية، خاصة إذا كانت تضخم التصدعات الموجودة حاليا في مجتمعنا. وبالإضافة إلى ذلك فسنعالج أيضا سؤالا أكثر شمولا: إلى أين نتوجه بسرعة؟ إذا كانت حقبة من العلم تنتهي الآن وحقبة أخرى على وشك البدء، فإلي أين سيقودنا هذا كله؟ هذا هو بالضبط السؤال الذي يسأله علماء الفيزياء الفلكية الذين يمسحون السماء بحثا عن دلائل لحضارات غير أرضية قد تكون أكثر تقدما من حضارتنا بكثير. وهناك ٢٠٠ مليون نجم في مجموعتنا الشمسية وتريليونات المجرات في الفضاء الخارجي. وبدلا من إضاعة ملايين الدولارات في البحث العشوائي في كل النجوم في السماء عن دلائل على حياة غير أرضية، حاول علماء الفيزياء الفلكية ـ العاملون في هذا المجال ـ أن يركزوا جهودهم على وضع تصور نظري عن خصائص ومميزات استخدام الطاقة في الحضارات المتقدمة بقرون أو بالاف السنين عن حضارتنا.

وبتطبيق قوانين الطاقة والثرموديناميك استطاع علماء الفيزياء الفلكية الذين يمسحون السماء أن يصنفوا الحضارات غير الأرضية المفترضة إلى أصناف ثلاثة بحسب الطريقة التي تستخدم فيها الطاقة. وقد دعاها عالم الفلك الروسي نيكولاي كارداشيف والفيزيائي برنستون فريمان دايسون حضارات النوع الأول والثاني والثالث.

وبافتراض زيادة سوية متواضعة في استهلاك الطاقة يمكن للمرء أن يستنبط متى تستنفد مصادر الطاقة بعد قرون عدة في المستقبل، مما يدفع إلى التقدم إلى المستوى الذي يليه. فحضارة النوع الأول هي حضارة تحكمت بكل أشكال الطاقة الأرضية. ويمكن لمثل هذه الحضارة أن تعدل الطقس وتستخرج المعادن من المحيطات وتستخلص الطاقة من مركز كوكبها. إن احتياجاتها للطاقة كبيرة جدا، بحيث إن عليها أن تستغل الموارد الممكنة للكوكب بأكمله. إن استغلال وإدارة الموارد على هذا المستوى الضخم يتطلب درجة متطورة من التعاون بين السكان مع توافر - وسائل اتصال كوكبية متطورة. ويعني هذا بالضرورة أنها حصلت فعلا على حضارة كوكبية حقيقية، وهي حضارة نحّت جانبا معظم الصراعات الدينية والطائفية والوطنية والمذهبية التي تميز أصلها.

أما الحضارة من النوع الثاني فهي حضارة تتمكن من السيطرة على الطاقة الشمسية، فاحتياجات سكانها من الطاقة كبيرة جدا، بحيث إنهم يكونون قد استهلكوا مواردها في كواكبهم، وعليهم أن يستخدموا شمسهم نفسها لتحريك آلاتهم. لقد خمّن دايسون أنهم ببناء كرة عملاقة حول شمسهم فإنهم قد يتمكنون من قطف أو استثمار كامل الطاقة الناتجة عنها، كما أن سكان هذه الحضارة سيكونون قد بدأوا باكتشاف أنظمة النجوم المجاورة وربما باستعمارها.

أما الحضارة من النوع الثالث فإنها حضارة انتهى سكانها من استهلاك الطاقة الناتجة من نجمهم، لنجم أو عدة نجوم مجاورة، والتطور في النهاية إلى حضارة مجرّة، وبذلك يحصلون على طاقتهم عن طريق استغلال مجموعات من أنظمة النجوم في المجرة، (ولإعطاء شعور بالحجم، فإن الاتحاد الفيدرالي للكواكب الذي وصف في مسلسل «ستارترك» يصلح ربما

لوضع من النوع الثاني، لأنهم حصلوا توا على القدرة على إشعال النجوم وقد استعمروا بضعة أنظمة نجمية قريبة).

إن هذا النظام في تصنيف الحضارات معقول لأنه يعتمد على المصدر المتاح للطاقة. وفي النهاية ستجد أي حضارة متقدمة في الفضاء ثلاثة مصادر للطاقة تحت تصرفها: طاقة كوكبها وطاقة نجمها وطاقة مجرتها. فليس هناك خيار آخر.

وبمعدل نمو متواضع بحدود ٣٪ في العام وهو معدل النمو النموذجي في الأرض يمكن للمرء أن يحسب متى يمكن لكوكبنا أن يصنع التحول إلى حالة أرقى في المجرة. وعلى سبيل المثال يقدر فيزيائيو الفلك ـ حسب اعتبارات خاصة بالطاقة أن عاملا بحدود ١٠ بلايين قد يفصل الطلب على الطاقة بين الأنواع المختلفة من الحضارات. وبرغم أن هذا الرقم الهائل يبدو لأول وهلة عقبة لا يمكن تجاوزها، فإن معدل نمو ثابت بمقدار ٣٪ يمكنه أن يتجاوز هذا العامل. وبالفعل يمكننا أن نتوقع الوصول إلى النوع الأول خلال قرن أو قرنين. وللوصول إلى النوع الثاني قد يتطلب الأمر ليس أكثر من حوالى ٨٠٠ سنة. ولكن الوصول إلى النوع الثالث قد يستغرق نحو ١٠ آلاف سنة أو أكثر (حسب فيزياء السفر بين النجوم). ولكن حتى هذا الرقم لا يمثل سوى مابين طرفة عين وانتباهتها بالمقاييس الكونية.

وقد تسأل أين نحن الآن؟ إننا في الوقت الحاضر حضارة من النوع صفر: فنحن نستخدم أساسا النباتات الميتة (الفحم الحجري والنفط) لتزويد آلاتنا بالطاقة. وعلى هذا المستوى الكوكبي فنحن مثل أطفال نقوم بخطواتنا الأولى الثقيلة والمترددة في المكان. ولكن مع نهاية القرن الحادي والعشرين فإن الطاقة المجردة للثورات العلمية الثلاث ستجبر شعوب الأرض على التعاون على مستوى لم يروه من قبل في تاريخهم. وبحلول القرن الثاني والعشرين سنضع الأساس لحضارة من النوع الأول وستأخذ البشرية خطوتها الأولى نحو النجوم.

تخلق ثورة المعلومات منذ فترة، أواصر كونية بحجم لم يعهد من قبل في التاريخ الإنساني، محطمة المصالح الصغيرة والمحلية، وخالقة ثقافة كونية. وكما جعلت آلة الطباعة التي اخترعها جوتنبرج الناس مدركين لعوالم أبعد من قراهم ومزارعهم، فإن ثورة المعلومات تبني وتصهر ثقافة كونية واحدة من آلاف الثقافات الصغرى.

إن هذا يعني أن رحلتنا المتجهة نحو العلم والتكنولوجيا ستقودنا يوما إلى أن نتطور نحو حضارة حقيقية من النوع الأول وهي حضارة كوكبية تبسط سيطرتها على قوى كوكبنا. والتقدم نحو حضارة كونية سيكون بطيئا وسيتم على مراحل، وسيكون مليئا ـ بلاشك ـ بتراجعات وانحرافات. ويقبع دائما احتمال حرب نووية أو اندلاع مرض مميت أو انهيار البيئة في خلفية أوضاعنا، وإذا لم يحدث مثل هذا الانهيار أعتقد أنه يمكننا القول بأن تقدم العلم يمكنه أن يخلق قوى تنقل الجنس البشري إلى حضارة من النوع الأول.

إن ما نشهده ليس نهاية العلم، بل إن الثورات العلمية الثلاث التي تطلق قوى هائلة قد ترفع أخيرا حضارتنا إلى مستوى النوع الأول، لذا فعندما حدق نيوتن لأول مرة في محيط المعرفة الهائل والمجهول ربما لم يدرك أن التفاعل المتسلسل من الحوادث ـ الذي بدأه مع آخرين ـ سيؤثر يوما في كامل المجتمع الحديث، صانعا في النهاية حضارة كونية، ودافعا إياها نحو طريقها إلى النجوم.



الجزء الثاني

ثورة الكمبيوتر

2 الكمبيوتر الخفي

يقع مركز بالو للأبحاث التابع لشركة زيروكس أعلى التلال الملتوية الهادئة التي تطل على وادي السيليكون، محاطا بأفدنة عدة من الحقول الذهبية الداكنة تحت سماء ساطعة. وبوجود قطيع من الخيول يرعى بهدوء بالقرب منه، لا يشك المرء أبدا في أن المركز مركز إعصار، قد يساعد على إعادة تشكيل القرن الحادي والعشرين. وإذا شك أي إنسان في قدرة المركز الخارقة على التنبؤ بمستقبل تكنولوجيا الكمبيوتر، فما عليه إلا أن يتفحص تاريخه المميز في التقاط الاختراعات الناجحة.

ولا توجد خارج المدخل الأمامي إشارة أو لافتة تقدم الزوار بطريقة مناسبة إلى الأهمية التاريخية لهذا المعمل، ولكن يمكن لمركز بالو آلتو أن يدعي بحق أن «الكمبيوتر الشخصي قد اخترع هنا»، ناهيك عن وضع الأساس للطابعة الليزرية، وللبرنامج الذي أصبح في نهاية المطاف أساس أنظمة التشغيل الويندوز والماكنتوش. وحتى في وادي السيليكون الذي تسوده المنافسة

«سيتلاشى الكمبيوتر الشخصي ومحطة التشغيل على المدى البعيد، لأن مكوناتهما ستكون منتشرة في كل مكان: على الجدران وحول معاصم الأيدي وفي «اجهزة مهملة» (تماما مثل الأوراق المهملة)، موزعة في اماكن مجاورة لنا وجاهزة للالتقاط حسب الطلب».

مارك وايزر

مركز بالو آلتو التابع لزيروكس

الشديدة، يتمتع مركز بالو آلتو للأبحاث بسمعة هائلة في صناعة تتقدم بسرعة عالية جدا. وإذا كنا نشهد موجة كاسحة من المنتجات الجديدة ومن الأجهزة عالية التكنولوجيا آتية من وادي السيليكون، فإن ذلك يرجع إلى أن هذا المركز وضع الأسس التي أدت إلى اختراعها.

وإذا كان هناك شخص رأى المستقبل فهو مارك فايزر، الرئيس الأسبق لمختبر علم الكمبيوتر في مركز بالو آلتو التابع لزيروكس وفريقه من المهندسين. وينتمي هؤلاء إلى نخبة من علماء الكمبيوتر المختارين بشكل رفيع، والموجودين في وادي السيليكون وكامبريدج، الذين يمتلكون الموهبة النادرة في دمج ملكات الإبداع التكنولوجي مع البراعة الفنية الغنية والخلاقة. وفايزر رجل قصير وذو شعر قليل، وله أسلوب شخصي محبب وابتسامة ساخرة (وله أيضا جانبه المشاغب: فهو يقرع على الطبول لفرقة روك أند رول صاخبة تدعى Severe Tire Damage ، وهي فرقة مشهورة بالتهريج على شبكة الإنترنت). وعندما لا يخبط فايزر مع فرقته الموسيقية يكون منهمكا في وضع بنية كمبيوتر القرن الحادي والعشرين. إن هدف هذا الفريق هو التنبؤ بالمرحلة التالية من مراحل تطور الكمبيوتر.

ولأن الشرائح الدقيقة أصبحت قوية ورخيصة جدا، فإن فايزر وعلماء الكمبيوتر أمثاله يعتقدون أنها ستندس بخفة وبالآلاف ضمن نسيج حياتنا، وستدخل ضمن الجدران والأثاث وأدواتنا ومنازلنا وسياراتنا وحتى مجوهراتنا. وقد تحتوي ربطة عنق بسيطة في المستقبل طاقة حاسوبية أكبر من (سوبر كمبيوتر) اليوم. وقد صنعت حتى الآن نماذج أولية من هذه الأجهزة، تتابع بصمت تحركاتنا من غرفة لأخرى ومن بناء لآخر، تنفذ أوامرنا خفية.

وسيكون الكمبيوتر قوة محررة حقا في حياتنا، بدل أن يكون سيد المهمات الملحة، الذي قد يكون عليه اليوم. وكما يقول فايزر «ستجعل الآلات التي تناسب بيئة الإنسان استخدام الكمبيوتر، عملية ممتعة تشبه التريض في الغابات، بدل أن تجبر الإنسان على دخول عالمها. وسوف تتواصل هذه الآلات المنتشرة مع بعضها البعض، وستتصل آليا بشبكة الإنترنت، وستصبح تدريجيا ذكية، ويمكنها أن تتوقع رغباتنا، كما يمكنها عن طريق الاتصال بالإنترنت أن تجلب حكمة الكوكب كله إلينا.» إن النتائج المترتبة على هذه الرؤية مذهلة، إن الكمبيوتر الشخصي سيكون مجرد آلة حاسبة.

لقد جذبت أفكار أناس في أماكن مثل مركز بالو آلتو انتباها شديدا، لأن حظوظ صناعة بعدة بلايين من الدولارات قد تعتمد يوما على أحلام اليقظة الخاملة، وعلى العبث المفيد لهؤلاء المهندسين المهرة، وهناك اتفاق عام بدأ يتكون بين خبراء الكمبيوتر الكبار في أمريكا، فبدل أن تصبح أجهزة الكمبيوتر الوحوش المفترسة التي صورت في أفلام الخيال العلمي، ستغدو صغيرة جدا ومنتشرة في كل مكان، بحيث إنها ستكون مخفية، فهي في كل مكان وليست في مكان محدد، وستكون قوية جدا بحيث تتوارى عن الأنظار، وقد سمى فايزر هذه الفكرة (الحوسبة الحاضرة في كل مكان).

الكمبيوتر الخفي

قد يكون هذا الميل نحو الاختفاء قانونا عاما في تصرف الإنسان، وكما يقول فايزر (إن الاختفاء ينجم أساسا عن نفسية البشر وليس بسبب التكنولوجيا، فكلما تعلم الإنسان شيئا بشكل جيد بما يكفي، فإنه يتوقف عن الإحساس به). وإذا بدا هذا الأمر بعيدا عن الواقع، فيمكنك أن تفكر في تطور الكهرباء والمحرك الكهربائي. لقد كانت الكهرباء والمحرك الكهربائي في القرن التاسع عشر نادرين جدا، بحيث صممت مصانع بأكملها لتستوعب مصابيح الإنارة والمحركات الضخمة بينما صممت أماكن العمال وقطع الغيار والطاولات وما شابه ذلك، لتلائم متطلبات الكهرباء والمحرك. ومع ذلك فقد غدت الكهرباء اليوم منتشرة في كل مكان، فهي مخبأة في الجدران ومخزنة في بطاريات صغيرة. أما المحركات فقد أصبحت صغيرة جدا ومنتشرة، بحيث تخبأ أعداد منها داخل هيكل السيارة، لتحريك النوافذ والمرايا وأرقام الراديو ومحرك الشريط المسجل والهوائي وغيره. ومع ذلك فنحن محظوظون حينما لا نحس ونحن نقود السيارة أننا محاطون بحوالى ٢٢ محركا وحوالى ٢٥ صماما كهربائيا. وقياسا على ذلك يمكن مقارنة المرحلة القادمة من الكمبيوتر بتطور الكتابة، فمنذ عدة آلاف من السنين كانت الكتابة فنا سريا تتحكم فيه بأنانية طبقة صغيرة من الخطاطين، الذين دربوا على الكتابة على ألواح فخارية، وكانت هذه الألواح نادرة جدا وتشوى بصعوبة شديدة وتحرس بعناية فائقة من قبل جنود الملك. وعندما اخترع الورق لأول مرة، كان هو الآخر سلعة نادرة

وغالية جدا، وتحتاج لفافة بسيطة منه إلى مئات الساعات لإنتاجها. لقد كان الورق غاليا جدا، بحيث لم يتمكن سوى الملوك من الحصول عليه، ولم يستطع معظم الناس إلا نادرا إلقاء نظرة خاطفة عليه طيلة حياتهم.

أما اليوم، فإننا لا نكاد نحس بالورق على الرغم من أننا محاطون بعالم يطفح بالورق والكتابة، فعندما نتمشى في شارع لا نلحظ شيئا مميزا في الكتابات على لوحات الإعلان، ومغلفات العلكة ولافتات الشوارع. وفي كل يوم نلتقط صفائح من الورق ونخربش عليها ثم نرميها جانبا، لقد تطورت الكتابة من وسيلة اتصال كثيفة العمالة ومقدسة، يحتكرها بحرص الملوك والكتبة إلى عملية لا يكاد يلحظها أحد ومستهلكة ومنتشرة في كل مكان، (وفي الواقع فإن الورق هو أحد أكبر مصادر الفضلات في المجتمع الحديث، ويحتوي كله تقريبا على كتابة).

وعلى الرغم من أن هذه الرؤية لأجهزة كمبيوتر قوية ولكنها غير مرئية مخبأة في بيئتنا تبدو غير عملية ومكلفة جدا، فإن ذلك مجرد وهم. فمع هبوط كلفة الشرائح الدقيقة المستمر، فإن هذه الأخيرة ستكون رخيصة جدا. ويقول فايزر «لن يكون هناك غضاضة يوما ما في المستقبل، أن نذهب إلى البقال ونشتري ست حزم من الكمبيوتر، تماما كما نشتري البطاريات اليوم». وفي صناعة الكمبيوتر يستغرق وصول الفكرة من نشأتها وحتى دخولها السوق ١٥ سنة في المتوسط. فالكمبيوتر الشخصي الأول، على سبيل المثال، بني في معامل بالو آلتو عام ١٩٧٢، ولكنه لم يستأثر باهتمام الناس إلا في أواخر الثمانينيات. لقد بدأت فكرة الحوسبة كلية الانتشار عام ١٩٨٨. وقد يستغرق الأمر حتى عام ٢٠٠٣، كي نبدأ برؤية هذه الأفكار تؤثر في حياتنا بطريقة محسوسة. وقد يستغرق الأمر أعواما عدة بعد ذلك قبل أن تصل إلى (الكتلة الحرجة) وتلهب السوق. ولكن يمكن للمرء أن يتوقع رؤية نضوج الحوسبة كلية الانتشار بحلول عام ٢٠١٠، وهيمنتها على حياتنا بحلول عام ٢٠٢٠.

ثلاثة أطوار من الحوسبة

قد يكون من المفيد إدراج تطور الكمبيوتر ضمن إطار تاريخي أوسع. ويقسم العديد من محللي الكمبيوتر تاريخه إلى ثلاثة أطوار متميزة أو أكثر. لقد سيطر على الطور الأول الكمبيوتر الرئيسي المركزي Main frame، الذي تميز بضخامته

ولكن بقوته، والذي طور أولا من قبل شركات آي.ب.م I.B.M وبيروز Burroughs وهونيويل وآخرين. لقد كانت أجهزة الكمبيوتر مكلفة جدا، بحيث اضطر قسم كامل من العلماء والمهندسين إلى الاشتراك في كمبيوتر رئيسي ضخم واحد. وكانت نسبة أجهزة الكمبيوتر إلى الناس غالبا كمبيوتر لكل مائة عالم. ويقول جون كيميني الرئيس الأسبق لجامعة دارثماوث في ذلك «لقد كانت الآلات نادرة وغالية الثمن، بحيث تعامل العديد من العلماء مع الكمبيوتر، كما تعامل اليوم القدماء مع هيكل مقدس». وكان هناك مقدار معين من الغموض في هذه العلاقة، التي وصلت إلى درجة ألا يسمح إلا لعدد مختار من الـ «كهنة» بالاتصال المباشر مع الكمبيوتر». وكما كانت الحال بالنسبة إلى الألواح الفخارية، فقد نشأت طبقة كاملة من «الكهنة» لخدمة وبرمجة كل كمبيوتر، بحيث إنهم بدوا للمراقبين من الخارج كأنهم يحرسون بكل غيرة سلطتهم واتصالهم بالكمبيوتر المركزي، وخامرتهم ظنون بأن هؤلاء الناس يتبعون طقوسا تستغلق على الأفهام.

أما الطور الثاني للحوسبة فقد بدأ في أوائل السبعينيات، عندما أدرك المهندسون، في مركز بالو آلتو التابع لشركة زيروكس، أن قدرة الكمبيوتر تزداد بسرعة هائلة في الوقت الذي يتناقص فيه حجم الشرائح الدقيقة بشكل كبير. لقد تصوروا أن تصل نسبة أجهزة الكمبيوتر إلى الناس في النهاية إلى واحد لواحد. ومن أجل اختبار أفكارهم، فقد صمموا وصنعوا «آلتو» ALTO عام ١٩٧٢، وهو أول كمبيوتر شخصي على الإطلاق. لقد أدرك المهندسون في المركز أن أحد الاختناقات في الحوسبة يعود إلى الأوامر المعقدة وكتيبات التشغيل السمجة، التي غالبا ما تكون بحجم دليل هواتف مانهاتن، وبدرجة وضوحه ذاتها. ولم تكن أجهزة الكمبيوتر (صديقة للمستخدم)، بل كانت (عدوة المستخدم). وتساءلوا لماذا لا ينشئون شاشة كمبيوتر مؤسسة كليا على الصور والأيقونات، بحيث يمكنك بسهولة أن تضع «المؤشر» على هذه الأشكال لفتح البرامج واستخدامها. وبضربة معلم، أمكن للأطفال بهذه الطريقة تشغيل الكمبيوتر دون جهد كبير، بعد أن كان ذلك عملية مؤلمة وشاقة، وأصبح استخدام الكمبيوتر رحلة ممتعة ومبهجة ومثيرة من الاكتشاف، تبحر خلالها عبر قوائم غير مكتشفة أو مخططة من خلال أيقونات مسلية.

واستعارت شركة آبل بعد ذلك، أفكار مركز بالو آلتو لأجهزتها، وصنّعت في النهاية كمبيوتر ماكنتوش، وأخيرا تبنت مؤسسة مايكروسوفت أفكار المركز مرة

أخرى في برامج النوافذ windows التي صممتها والتي أصبحت منذ ذلك الوقت نظام التشغيل العام تقريبا لكل أجهزة الكمبيوتر المتوافقة مع آي.ب.م المنتشرة في الأسواق في كل أنحاء العالم. لقد وصف أحد الساخرين هذه العملية في الإغارة على أفكار المركز بأنها (اختراع للماضي). (ومن المفارقة أن آبل حاولت ملاحقة مايكروسوفت، متهمة إياها بسرقة نظام ماكنتوش للتشغيل، الذي سرق بدوره من مركز بالو آلتو للأبحاث التابع لزيروكس.

ولم يكن الانتقال بين هذين الطورين سهلا، فحتى المؤسسات العملاقة التي يصل رأسمالها إلى عدة بلايين من الدولارات تحطمت بلا رحمة، كأنها قشور بيض ، لأنها لم تكن قادرة على فهم هذه الأطوار في الحوسبة والتأقلم معها أو راغبة في ذلك. وحتى وقت ليس بالبعيد كانت مؤسسات آي.ب.م، وديجيتال، ووانج على التوالي، هي العمالقة الكبار في عالم الكمبيوتر، ولها أسواق مجزية في الكمبيوتر المركزي والصغير (الميني كمبيوتر) ومعالج الكلمات، ولكنها اعتقدت خطأ أن هذا الطور سيبقى إلى الأبد. ومثل ديناصورات بطيئة ظنت المؤسسات الثلاث جميعها، أن الكمبيوتر الشخصي مجرد «موضة» عابرة. وفي النهاية فقد اهتزت هذه المؤسسات الثلاث حتى الأعماق، ووصلت شركة وانج إلى الإفلاس، بينما اضطرت آي.ب.م. وديجيتال إلى التخلي عن دورهما الريادي، بعد خسارات مهلكة ومذلة قدرت بعدة بلايين من الدولارات.

الطور الثالث وما بعده: يعرف الطور الثالث من أجهزة الكمبيوتر على أنه طور الحوسبة الواسعة الانتشار، ويشير إلى الوقت الذي تكون فيه كل الأجهزة متصلة مع بعضها البعض، بحيث تقفز نسبة الأجهزة إلى الناس إلى الطرف المقابل، لتبلغ مائة كمبيوتر لكل شخص. وحتى شركة مايكروسوفت التي تسيطر اليوم على البرمجيات، ترتعش من مواجهة موجة الطور الثالث الذي بدأ مع الإنترنت، وقد اعترف بيل جيتس بذلك قائلا «إنه لمخيف قليلا أنه من تطور تكنولوجيا الكمبيوتر، لم يبق متقدم في طور ما، متصدرا في الطور الذي يليه». لقد قادت مايكروسوفت حقبة الكمبيوتر الشخصي، وبعد أن أدرك جيتس فجأة أن مايكروسوفت يمكن أن تلقى في مزبلة التاريخ بسبب الإنترنت، قام جيتس بتعديل شركته العملاقة لتتلاءم مع التطورات الجديدة في شبكات الكمبيوتر، وهي خطوة لم يتوقعها ولم يذكرها في نسخته الأصلية من كتابه الذي صدر عام ١٩٩٥، بعنوان (الطريق إلى الأمام).

وبحلول عام ٢٠٢٠، فإن حقبة انتشار الكمبيوتر على نطاق واسع ستصل إلى أوجها، ولكن حتى هذه الحقبة لن تبقى إلى الأبد. فمن المحتمل أن تنتهي سيطرة السيليكون بحلول عام ٢٠٢٠، حيث ستخلق تصاميم وبنى حاسوبية جديدة تماما. ويعتقد بعض محللي الكمبيوتر أن هذا سيقود إلى طور رابع، وهو إدخال الذكاء الاصطناعي في أنظمة الكمبيوتر. وقد تهيمن على عالم الكمبيوتر من عام ٢٠٢٠ إلى عام ٢٠٥٠ شبكة أجهزة غير مرئية، تتمتع بذكاء اصطناعي تعقل وتميز الخطاب، وتتصرف على نحو لائق. ويعتقد بعض المعلقين أن أجهزة الكمبيوتر قد تدخل طورا خامسا بعد عام ٢٠٥٠، عندما تستطيع الآلات أن تدرك ذاتها وأن تعي بذاتها. وسيُناقش عالم الكمبيوتر من عام ٢٠٢٠ إلى ٢١٠٠ بتفصيل أكبر في الفصول اللاحقة.

إن أبعاد هذه الأطوار عميقة حقا، لأنها تؤثر في كل ناحية من نواحي حياتنا. ولقد تم التعرض في أجهزة الإعلام لعدد من الإنجازات التقنية المدهشة، التي تنتظرنا خاصة خلال الأعوام العشرة القادمة، كما حصل في كتاب (جيتس) مثل: كمبيوتر الحقيبة والبيت الذكي. وقد يكون القراء على دراية ببعض هذه التطورات التي سأقدمها باختصار في هذا الفصل، ومع ذلك فسوف أمضي إلى أبعد من هذا، مركزا على تطورات تأخذنا إلى أبعد من العقد القادم، وتمتد حتى نهاية القرن الحادي والعشرين.

قانون مور

لكي نقدر الزيادة الملحوظة في قدرة الكمبيوتر، التي تدفعنا من مرحلة إلى أخرى، من المهم أن نتذكر أن قدرة الكمبيوتر ازدادت من عام ١٩٥٠ وحتى الآن بعامل يقدر بـ ١٠ بلايين مرة. وفي صميم هذا النمو الانفجاري يوجد قانون مور، الذي ينص على أن قدرة الكمبيوتر تتضاعف مرة كل ١٨شهرا. إن مثل هذه الزيادة السريعة في القدرة، لم تعرف تقريبا في تاريخ التكنولوجيا. ومن أجل تقدير حجم هذه الزيادة الهائلة، من المفيد أن ندرك أنها أكبر من الانتقال من المتفجرات الكيميائية إلى القنبلة الهيدروجينية. وفي الحقيقة فإن قدرة الكمبيوتر قد ازدادت بعامل تريليون واحد منذ ٨٠ عاما مضت. إن هذه الأرقام فلكية وتدفعنا حتما إلى الطور الثالث من الكمبيوتر. وباستخدام قانون مور

يمكننا أن نتوقع بشكل معقول مستقبل تكنولوجيا الكمبيوتر للسنوات الخمس والعشرين القادمة. إن قانون مور خادع، لأن عقولنا تعمل خطيا بدل أن تعمل رأسيا. فنحن نرى غالبا، على المدى القصير، تغيرا بسيطا من عام لآخر، بحيث نستنتج خطأ أنه لم يحدث تغير كبير، ولكن هذه التغيرات يمكن أن تصبح ضخمة جدا على مدى ٥ إلى ١٠ سنوات.

وتؤيد قوتان رئيسيتان من أكبر القوى في العالم، وهما قوانين الاقتصاد وقوانين الفيزياء، هذه الرؤية بعيدة المدى لأجهزة الكمبيوتر، فمع استمرار انخفاض أسعار المعالجات الدقيقة، يتنبأ الكثيرون أن تدفع قوى الاقتصاد البحت صناعة الكمبيوتر إلى الطور التالي. ويتنبأ رون بيرنال رئيس شركة ميبز تكنولوجيز MIPs أن سعر الشريحة الدقيقة سينخفض إلى ١٠ سنتات بحدود عام ٢٠٠٠(*) وإلى ٤ سنتات في عام ٢٠٠٥ وإلى سنتين في عام ٢٠١٠، ويوافق توماس جورج المدير العام لمنتجات أشباه الموصلات في شركة موتورولا على هذا الرأي، حيث يقدر أن الشريحة الدقيقة ستكلف ٥٠ سنتا عام ٢٠٠٠، و٧ سنتات عام ٢٠٠٥ لتصل إلى سنت واحد عام ٢٠١٠، وفي النهاية ستكون المعالجات الدقيقة برخص ورق المهملات وبالوفرة ذاتها.

إن هذا الازدياد الأسّي المستمر في قدرة الكمبيوتر، سيؤدي بدوره إلى ولادة صناعات بأكملها لا يوجد شبيه لها في السوق الحالية. وعندما يصبح سعر شريحة الكمبيوتر حوالى بنس واحد فقط، فإن الحافز الاقتصادي لوضعها في كل مكان من معداتنا إلى أثاثنا وسياراتنا ومصانعنا، سيكون قويا جدا. وفي الحقيقة، فإن الشركات التي لا تضع بعض شرائح الكمبيوتر في بضائعها، ستكون في وضع تنافسي سيئ. (حتى الآن، على سبيل المثال، فإن بطاقات التهنئة الموسيقية، التي تحتوي على شرائح تولد الموسيقى، تستخدم لمرة واحدة، تمتلك قدرة حاسوبية أكبر من الأجهزة التي وجدت قبل عام ١٩٥٠). وبالطريقة ذاتها التي توجد فيها كتابة على كل منتج على هذا الكوكب اليوم، فإن كل منتج في الطور الثالث للكمبيوتر، قد يحتوي على معالج دقيق بقيمة بنس واحد. وكما يقول أندرو جروف مدير شركة إنتل العملاقة، فإن القدرة الحاسوبية ستكون (مجانية فعلا ولا حدود لها) في المستقبل. ولكي يفهم المرء ديناميكية ومحدودية قانون مور، عليه أن يفهم قدرة نظرية الكم التي هي أكثر النظريات الفيزيائية أساسية في الكون.

(*) صدر هذا الكتاب في طبعته الإنجليزية عام ١٩٩٨.

قانون مور

يكمن السر وراء نجاح قانون مور في كيفية عمل الترانزستور وطريقة صنعه. فالترانزستور، أساسا، عبارة عن صمام يتحكم في تدفق الكهرباء. وبالطريقة ذاتها، التي يتحكم بها رجال الإطفاء بتدفق تيارات ضخمة من الماء في خرطوم إطفاء الحريق عن طريق تدوير صمام، يمكن لفولتات صغيرة جدا في الترانزستور، أن تتحكم في تدفق تيارات كبيرة من الكهرباء. وتتحكم نظرية الكم بدورها في ديناميكية الترانزستور (فغياب إلكترون في الترانزستور يعمل بحسب نظرية الكم كإلكترون ذي شحنة معاكسة أي (ثقب). وتقرر نظرية الكم كيفية حركة هذه الإلكترونات والثقوب في الترانزستور.

إن ما يجعل قانون مور ناجحا هو الجهد المبذول لتصغير حجم الترانزستورات. فلقد كانت الترانزستورات الأصلية عناصر كهربائية أولية بحجم قطعة الـ ١٠ سنتات، ومرتبطة بواسطة أسلاك، وكانت الترانزستورات تبنى يدويا في البداية. أما اليوم فتصنع باستخدام أشعة ضوئية لحفر أخاديد وخطوط دقيقة على شرائح سيليكونية (وتدعى هذه العملية بالطباعة الضوئية) Photolithography.

ويمكن مقارنة هذه العملية بصناعة القمصان الملونة: لقد كانت الطريقة القديمة هي تلوين كل قميص يدويا، ولكن الطريقة الأكفأ هي وضع استنسيل (شريحة من الورق أو المعدن عليها نقوش) فوق كل قميص، ومن ثم رشه بالحبر. وبهذه الطريقة يمكن للمرء أن يطبع، بشكل متكرر، صورا على القمصان، وينتجها بالجملة بكميات غير محددة. (وبالمثل يسقط الضوء فوق استنسيل من نوع خاص يدعى القناع، يوضع فوق شريحة السيليكون. ويحتوي على الشكل المطلوب من الخطوط والدوائر المعقدة. وتطبع حزمة الضوء المركز، التي تمر عبر القناع هذا النموذج على الشريحة الحساسة للضوء، وتعالج الشريحة بعد ذلك بغازات خاصة، تحفر الدائرة على الشريحة، حيثما تتعرض للضوء، وبهذا الشكل يحفر الهيكل الأساسي للدائرة، وتصنع الترانزستورات على هذه الأخاديد برش الشريحة بأيونات خاصة، وتكرر هذه العملية حوالى ٢٠ مرة بحيث تشكل نظاما متعدد الطبقات من شرائح السيليكون التي تحتوي على أسلاك وترانزستورات.

لقد اعتاد الفلاسفة أن يتجادلوا حول عدد الملائكة الذين يستطيعون الرقص على رأس دبوس. ويتجادل خبراء الحاسوب اليوم حول عدد الترانزستورات، التي يمكن حشرها في معالج دقيق بواسطة عملية الحفر هذه. فالحاسوب PC620 لشركة موتورولا مثلا، يحتوي على سبعة ملايين ترانزستور تقريبا، مضغوطة في شرائح سيليكون أصغر من حجم الطابع البريدي، لكن عملية التصغير هذه لا يمكن أن تستمر إلى ما لا نهاية، فهناك حد لعدد الأسلاك التي يمكن نقشها على الشريحة، ويعود سبب هذا الحد جزئيا إلى طول موجة الحزمة الضوئية.

وتُنقش شرائح السيليكون بأشعة ضوئية صادرة من مصباح زئبقي ذات أطوال موجة تقاس بالميكرونات (الميكرون ١/مليون من المتر). وخلال العقود القليلة المنصرمة، دفع قانون مور باتجاه استخدام أطوال موجات أصغر فأصغر من ضوء الزئبق، لصنع المعالجات الدقيقة. وتصدر المصابيح الزئبقية ضوءا طول موجته ٤٣٦, ٠ ميكرون (يقع في المجال المرئي)، وآخر بطول موجة ٣٦٥، ٠ ميكرون (في المجال فوق البنفسجي). وهذه المسافات أدق بـ ٣٠٠ مرة من شعرة الإنسان.

إن التكنولوجيا التي قد تهيمن في السنوات القليلة الأولى من القرن الحادي والعشرين، وربما حتى عام ٢٠٠٥ تعتمد على اكسايمر ليزر(*)، والذي يمكنه أن يخفض طول الموجة حتى ١٩٣, ٠ ميكرون (في المجال فوق البنفسجي العميق). ولكن هذه العملية ستتوقف بعد عام ٢٠٢٠، حيث ستكون هناك حاجة إلى تكنولوجيا جديدة مختلفة تماما، وسيناقش هذا في الفصل الخامس.

أجهزة الاستشعار والحاسوب الخفي:

لقد ضُخمت فكرة الحوسبة غير المرئية وطورت من قبل عدد من المفكرين الأساسيين في مجال الكمبيوتر. إن باول سافو، مدير معهد المستقبل وأحد الرواد المستقبليين، واحد من خبراء الكمبيوتر العديدين، الذين يشعرون بحتمية

(*) Excimer Laser نوع غازي من الليزر تنبعث منه نبضات قوية من الأشعة فوق البنفسجية، يستخدم في صناعة السلاح والأبحاث الطبية. تنبعث من إكسايمرات excimers ثنائية الجزيئات. لا توجد إلا في حالة استثارة مكوناتها وعودتها إلى حالتها الأرضية (المراجع).

نوع من أنواع الحوسبة المخفية، نظرا لانتشار تكنولوجيا الشريحة الدقيقة الرخيصة. وتدعى نسخته الخاصة من هذا المستقبل بـ (البيئة الإلكترونية).

عندما نحلل بيئة الغابة، فإننا نجدها مجموعة من الحيوانات والنباتات، التي توجد بانسجام وتتفاعل ديناميكيا مع بعضها البعض. وبالنسبة إلى سافو فهناك تقدم تكنولوجي رئيسي يحدث كل ١٠ سنوات، أو ما يقرب من ذلك، يغير العلاقة بين المخلوقات، فيما يصطلح عليه باسم (البيئة الإلكترونية). وعلى سبيل المثال، كانت الشريحة الدقيقة القوة الدافعة وراء ثورة الكمبيوتر الشخصي في الثمانينيات، وبالمقابل فقد كان النمو الانفجاري في الإنترنت في التسعينيات (الذي سأتطرق إليه بتفصيل أكبر في الفصل التالي) مدفوعا بالتزاوج بين قدرة المعالجات الدقيقة مع الليزرات الرخيصة، والتي يمكنها أن تحمل تريليونات الأحرف من المعلومات بسرعةالضوء عبر ألياف زجاجية. ويعتقد أن الثورة القادمة، في القرن الحادي والعشرين، ستدفع بواسطة أجهزة الاستشعار الرخيصة، المرتبطة مع المعالجات الدقيقة والليزرات.

وفي نسخة سافو عن الطور الثالث، سنحاط بمعالِجات دقيقة غير مرئية تستشعر وجودنا، وتتوقع رغباتنا، ويمكنها حتى أن تقرأ عواطفنا، وستتصل هذه المعالجات الدقيقة بالإنترنت. وستتمكن «حيوانات» غابته الإلكترونية، عن طريق تزويدها بهذه الأجهزة، من أن تعمل ما لا يمكن أن يعمله معظم أجهزة الكمبيوتر، أن تحس بوجودنا وحتى بمزاجنا. ويشير سافو بتهكم إلى أنه يمكن للمراحيض أن تستشعر الآن وجودنا (من خلال أجهزة الاستشعار التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء)، ولكن من غير الممكن حتى لأقوى أجهزة الكمبيوتر الفائقة تطورا، أن تشعر بالشخص الذي يستخدم الكمبيوتر ومكانه وهويته، ويقول سافو «إذا ارتطم جسم فلكي ساقط بمنزلي وضربني، بينما كنت أجلس قرب جهاز الكمبيوتر الشخصي، فلن تكون لديه أدنى فكرة عما حدث، وسيظل ينتظر تعليماتي التالية!».

وفي الطور الثالث عند سافو، سنتفاعل مع أجهزتنا غير المرئية باستخدام إشاراتنا وأصواتنا وحرارة أجسادنا وحركاتها وحقولها الكهربائية، وسوف تحس أجهزة الكمبيوتر الخفية بالعالم حولها عن طريق وسيلتين غير مرئيتين وهما: الصوت والطيف الكهرومغناطيسي. وسوف تستخدم وسائط غير مرئية مختلفة

لأغراض متعددة، وعلى سبيل المثال، ستلتقط أجهزة الاستشعار أوامرنا الصوتية لتنفذ رغباتنا، وباستخدام آلات تصوير فيديو مخبأة، ستتمكن أجهزة الكمبيوتر من تحديد وجودنا، وإدراك تعابير وجوهنا. ويمكن اكتشاف موقع أيدينا وأجسامنا بقياس حقولها الكهربائية. وسوف تستخدم السيارات الذكية الرادار، لتشعر بوجود سيارات أخرى. وستتمكن أجهزة الاستشعار بالأشعة تحت الحمراء من تحديد أمكنتنا عن طريق الحرارة التي نصدرها، وستتواصل أجهزة الكمبيوتر مع بعضها ومع شبكة الإنترنت، عن طريق موجات اللاسلكي والميكروويف.

مكتب المستقبل ومنزله الذكيان

إن الخطوة الأولى في الرحلة الطويلة والممتعة نحو الحاسوبية المخفية، هي صنع آلات قابلة للتسويق، تدعى البطاقات الذكية والمسودات الذكية واللوحات الذكية، يتراوح حجمها بين البوصة والقدم والياردة على التوالي. وربما سيكون هناك ١٠٠ بطاقة ومن ١٠ إلى عشرين مذكرة ولوحة أو لوحتان لكل غرفة من ثوابت أثاث المكتب في المستقبل. والبطاقات الذكية عبارة عن لوحات صغيرة بحجم بوصة تعلق على ثياب الموظفين، وهي شبيهة ببطاقة تعريف الموظفين، فإنها ستحمل مرسلا للأشعة تحت الحمراء ولها قدرة كمبيوتر شخصي. وقد صنعت شركة أوليفيتي كامبريدج نماذج أولية منها. وعندما يتحرك موظف داخل بناء، يمكن للبطاقات أن تتابع مكان وجوده، وتفتح الأبواب بصورة سحرية عندما يقترب منها، وتنار الغرفة عندما يدخل إليها (كما أنها تغلق آليا عندما يغادرها)، ويمكن لعمال الاستقبال أن يحددوا مكان أي شخص في البناء، ويمكن لبطاقة اتصال أن تسمح للموظفين بالتواصل شفهيا، وإعطاء الأوامر، أو إلقاء الأسئلة على كمبيوتر رئيسي.

وهناك إمكانات لا نهاية لها لهذه البطاقات، إذ يمكنها أن تمسح شبكة الإنترنت بحثا عن أخبار مهمة، وتنبه حاملها إلى تطورات حرجة في الصناعة أو في سوق الأسهم المالية، أو إلى اتصالات هاتفية مهمة، أو إلى حالات طوارئ عائلية...إلخ، ويمكن لهذه البطاقات أن تتواصل مع بطاقات أخرى أيضا، وتتبادل معها بصمت معلومات تتعلق بالعمل، وفي نهاية المطاف قد تصبح صغيرة جدا، بحيث يمكن إخفاؤها في أزرار القمصان أو في مشبك ربطة العنق.

أما المسودات الكبرى، والتي يصل حجمها إلى قدم، فهي المماثل لورق المسودات الذي نكتب عليه، وسيشبه كثيرا من حيث الشكل شاشات الكمبيوتر الرقيقة، وقد يصبح أخيرا بسمك الورق نفسه. وبدلا من أن ينقل الموظفون محطة عمل ثقيلة من غرفة إلى أخرى، يمكن أن تحتوي كل غرفة على مسودات تستخدم مرة واحدة، ولن تكون هذه المسودات خاصة بأحد، ومثل رزمة من الأوراق المهملة قد نمتلك أعدادا منها موزعة فوق مكتبنا. وعلى نقيض رزم الأوراق المسودة العادية، فإن كل واحدة من هذه المسودات ستكون كمبيوتر شخصيا عاملا متصلا مع الكمبيوتر الرئيسي. إنها من ناحية ما بداية الورق الذكي، وعندما نرسم خطوطا على ورقة ذكية كهذه يمكن لبرنامج الأشكال داخلها أن يحول رسومنا غير المتقنة إلى أشكال جميلة، أو يستخدم إمكانات التحرير لديه لتحويل ملاحظاتنا المكتوبة عليها إلى نص بقواعد سليمة. وبعد أن ننتهي منه ونخزن عملنا في الكمبيوتر المركزي نرميه ببساطة في حزمة المسودات على طاولتنا.

أما اللوحات الذكية التي يبلغ طولها نحو ياردة، فهي عبارة عن شاشات حاسوبية ضخمة تعلق على الجدران ، وتعمل هذه اللوحات في المنزل كشاشات فيديو حائطية لجهاز التلفاز ولشبكة المعلومات والتواصل بينهما، وتخدم في المكتب كلوحات تحتوي على النشرات، ويمكن استخدامها كلوحات خالية في كتابة ملاحظاتنا وتعليقاتنا، أو يمكننا استخدامها كحاسوب شخصي بالكامل ومرتبط مع شبكة الإنترنت، ويمكن استخدامها أيضا في الاجتماع عن بعد. فبدلا من إنفاق آلاف الدولارات على إرسال الموظفين بالطائرات من مكاتب بعيدة يستطيع المدير أن يحول اللوحة ببساطة إلى شاشة حائطية ضخمة، وأن يعقد اجتماعا من خلالها مع موظفيه، أو يستطيع الأطباء استخدامها للإشراف على عملية جراحية من أماكن نائية.

لقد كانت الآلة الكاتبة تاريخيا من أولى الآلات التي تدخل إلى مكاتبنا ومنازلنا وأصبحت «ذكية». وعندما وضعت شريحة في آلة كاتبة لأول مرة سميت (معالج الكلمات)، وعلى الرغم من أن هناك عددا بسيطا من الشرائح الأولية الموزعة في أنحاء المنزل اليوم، فإنها غير متصلة ببعضها. وإذا تم التنبؤ بعاصفة في المستقبل، فإن منزلك سيلتقط التنبؤ الجوي من شبكة الإنترنت وسيقوم بالإجراءات الضرورية مثل: رفع درجة الحرارة وتنبيه أفراد

العائلة وتقديم آخر الأخبار، وستراقب غرفة الحمام الذكية صحة أفراد العائلة. ويُسَوَّق الآن مرحاض متصل بالكمبيوتر في اليابان، يمكنه أن يشخص المشكلات الطبية البسيطة، ويمكن جس نبض المريض بمقعد المرحاض عن طريق تحسس النبض المنخفض جدا في فخذ الإنسان، كما يمكن تحليل البول كيميائيا من أجل معرفة نسبة السكر.

وعلى الرغم من أن أدوات التشخيص الطبية هذه لا تزال بدائية، فإن العلماء يتوقعون لها أن تزدهر في المستقبل، وتتحول إلى أجهزة تحليل طبية متطورة، بحيث تعمل كجهاز رسم القلب وتتحسس البروتينات التي تطلقها الأنسجة قبل السرطانية، وقد يخدم البيت الذكي في المستقبل البعيد كممرضة آلية، تشخص حالة الشخص الصحية بدقة وترسل المعلومات آليا بصمت إلى طبيبه.

مختبر وسائط معهد ماساشوستس للتكنولوجيا

ربما كان مختبر الوسائط في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، الذي أسسه نيكولاس نيغروبونت، هو الأكثر اهتماما بتوحيد الوسائط والفن والتكنولوجيا، ويوجد هذا المختبر المخبأ بين الأبنية المتقشفة غير واضحة الملامح، والتي تؤلف مجمع المعهد في بناء حديث جدا مبني بالحجارة البيضاء، صممه المعماري آرم باي. (وبسبب تصميمه المميز يشير إليه السكان المحليون بود على أنه مرحاض باي).

إن مدير ما يمكن أن يكون أكثر مشاريع الكمبيوتر المنتشرة طموحا وإثارة وهو مشروع «الأشياء التي تفكر»، هو الفيزيائي نيل جِرشنفيلد الذي يتوقع رؤية يوم يمكن فيه لمعظم الأشياء غير الحية حولنا أن تفكر. وجِرشنفيلد شاب على عجلة من أمره طويل ونحيل وذو لحية خفيفة وشعر بني مجعد، يفيض بالحيوية والتركيز، ولديه اهتمامات عدة ويستطيع أن يتكلم في ثلاثة موضوعات بأسرع مما يتكلم أحدنا في موضوع واحد. وقد حقق جرشنفيلد اختراقا مهما، عندما، اكتشف طريقة جديدة تماما للإحساس بوجودنا، فالفضاء حول أجسامنا مشحون بحقل كهربائي غير مرئي مثل شبكة العنكبوت. ويتولد هذا الحقل الكهربائي عن الإلكترونات التي تتراكم على جلدنا مثل الكهرباء الساكنة، وعندما تتحرك أجسامنا تتحرك هذه «الهالة» من المجال الكهربائي معها، لقد اعتبرت

هذه «الهالة» في الماضي، من دون فائدة، من وجهة نظر اقتصادية، وأوضح جرشنفيلد، أنه لو كان لدينا جهاز استشعار يكتشف الحقول الكهربائية في الفضاء حول أجسامنا، فيمكن استخدامها لرصد أذرعنا وأصابعنا.

ونتيجة لذلك، ولدت فكرة (الطاولة الذكية). ويحب جرشنفيلد القيام باستعراض هذا النوع الجديد من التكنولوجيا، ويلوح بيديه فوق (الطاولة الذكية) مثل قائد أوركسترا، وبالقرب منه تظهر شاشة الكمبيوتر شبح يد تتحرك داخل مكعب، معطية الإحداثيات الدقيقة ليده في الأبعاد الثلاثة. ويدعو جرشنفيلد هذا باستشعار المجال الكهربائي. ويمكن أن تكون لهذه الظاهرة تطبيقات فورية، لأنها أقوى وأخصب للتواصل مع الكمبيوتر من المؤشر ذي البعدين الشائع اليوم، ويمكن استخدامها أيضا لتطوير الواقع الافتراضي، بحيث لا يضطرالناس إلى أن يرتدوا قفازات سمجة لرصد أبعاد أيديهم لدى تحركها. (إن الإيهام بالواقع الافتراضي يزداد قوة، دون الحاجة إلى شبكة من الأسلاك المعقدة، وقد يتمكن المتسوقون السبرانيون Cyber shopers في المستقبل، من أن يلوحوا بأصابعهم للتجول في محلات التسوق الافتراضية على شاشات الكمبيوتر.

إن الإستراتيجية التي يتجه بواسطتها جرشنفيلد نحو أجهزة القرن الحادي والعشرين هي بسؤال نفسه (أين أستطيع أن أجد مجالا لم يستخدم، وكيف يمكن أن أجعله حيا؟) إ ن أحد المجالات التي أهملت لسنوات هي الأحذية التي تلبسها، والتي تمثل مجالا ثمينا للعمل غير مستخدم وينتظر من يجعل له استخداما ذكيا. ويمكن لأحذيتنا أن تقوم في المستقبل مقام بطاريات الكمبيوتر، التي يمكن أن نحتاج إليها. فحمل بطاريات ثقيلة كلما أردنا إعطاء طاقة للكمبيوتر الموجود في حزمة ربطة العنق، سيكون أمرا مزعجا، ولكن جسم الإنسان، كما يشير إلى ذلك جرشنفيلد، يولد حوالى ٨٠ واط من الطاقة المستخدمة في حركته، ويمكن سحب واط من هذه الطاقة بسهولة من حركات الحذاء وحده. ولقد عثر جرشنفيلد على استخدام آخر لحذائنا. فمن الممكن، في المستقبل، وضع إلكترود في الحذاء يمكنه أن ينقل معلومات شخصية إلى الآخرين، وبدلا من تبادل بطاقات العمل، فكل ما على المرء أن يفعله، هو أن يصافح يد شخص آخر، ولأن الجلد مالح وناقل للكهرباء، فمن الممكن لسيرة ذاتية أن تنتقل كهربائيا من الحذاء إلى الأيدي، ومن ثم إلى يدي الشخص المتعرف عليه، ومن ثم إلى حذائه. وقد يثبت هذا في نهاية المطاف جدواه كطريقة ملائمة لتبادل سجلات إلكترونية ضخمة

مع شخص آخر في الشارع، ولذا فليس من المستغرب أن يكون شعار مختبر (الأشياء التي تفكر) هو التالي:

لقد أمكن للأحذية في الماضي أن تتعفن.

ويمكن لها في الحاضر أن تلمع.

أما في المستقبل فيمكنها أن تفكر.

كمبيوتر في الملابس

إن العنصر المهم الآخر في فكرة (الأشياء التي تفكر) هو النظارات التي يضعها العديدون منا، لقد أتقن مختبر الوسائط، في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، طريقة لوضع شاشة حاسوبية صغيرة فوق النظارات، وقد فعلوا ذلك بوضع عدسة غريبة تشبه عدسة الصائغ فوق النظارات، وتحتوي على شاشة كمبيوتر شخصي كاملة، تضاء عن طريق ديودات صغيرة للغاية تصدر الضوء (LED)بالتحديق في هذه الشاشة الصغيرة التي لا يتجاوز عرضها نصف بوصة، يمكن للمرء أن يرى بوضوح رموزا مضيئة تظهر على شاشة حاسوب كاملة الحجم. وفي الأيام التي يكون الجو فيها صحوا في كامبريدج، يمكن للمرء أن يرى أحيانا طلاب معهد ماساشوستس في مختبر الوسائط مرتدين ثياب المواطنين السبرانيين، مرتدين الخوذات والنظارات وأجهزة العين الخاصة، وتتدلى من ثيابهم أقطاب ويحملون لوحة مفاتيح مبسطة، تسمح لهم بإدخال بيانات إلى شاشات، حواسيبهم، الموجودة في أجهزة عيونهم.

إن هذه البدايات الأولية الخام، التي تشكل جزءا من مشروع أجهزة الكمبيوتر لمختبر الوسائط، ستحول الفرد، في النهاية، إلى نقطة متحركة من الشبكة العنكبوتية العالمية. لقد ربط ستيف مان من مختبر الوسائط الصور التلفزيونية على العدسة المثبتة بنظارته مع شبكة الإنترنت، بحيث يرى الآخرون أيضا، فورا، ما يراه حتى ولو كانوا على بعد آلاف الأميال، على المستوى نفسه من الوضوح، وفي المستقبل قد يتمكن الناس، في أماكن متباعدة، من أن يشتركوا مباشرة فيما نراه من خلال نظاراتنا بهذه الطريقة.

وتمثل أجهزة الكمبيوتر الملبوسة من نواح عدة اندماجا بين الهواتف الخلوية (الهاتف المحمول) والكمبيوتر المحمول، وتثبت مبيعات الكمبيوتر المحمول الهائلة، والتي تمثل ربع مبيعات الحاسوب الشخصي تقريبا، أن هذه الحواسيب لم تعد سوقا هامشية، ولكنها جزء ضروري ومهم في دنيا الحاسوب، ومع استمرار

انخفاض التكلفة، فإن العديد من هؤلاء المستخدمين سينتهزون الفرصة لإبدال هواتفهم المحمولة وأجهزة الكمبيوتر المحمولة بجهاز مخفي ذكي، له قدرة كمبيوتر فائق.

ويمكن لهذه الأجهزة أن تحرر كثيرا من الناس، الذين يركبون سيارات الأجرة، أو يتسوقون في المجمعات، أو يسافرون بالطائرة، وقد يحتاج الأطباء الى أجهزة الكمبيوتر الملبوسة، لاستخدامها كمدخل للسجلات الطبية الطارئة، وكذلك قد يحتاج إليها رجال الشرطة الذين يحتاجون إلى الوصول إلى السجلات، ويحتاج إليها المراسلون الذين يلزمهم بيانات من سجلاتهم لإعداد تقاريرهم، والمضاربون الذين يلزمهم متابعة أسعار البورصة، على مدى أربع وعشرين ساعة متواصلة وهكذا دواليك.

وفي يوم ما قد تنقذ أجهزة الكمبيوتر الملبوسة حياة الإنسان، فإذا كنت تعاني نوبة قلبية في مكان بعيد عن مستشفى أو هاتف، يمكن لجهازك الملبوس، عن طريق مراقبته خفقان قلبك بصمت، أن يتعرف على الأنماط الشاذة التي ترافق النوبة القلبية، ويمكنه أن ينذر قسم الطوارئ الطبية EMS. وبعد حادث سيارة يمكن لكمبيوتر ملبوس أن يتصل آليا، ويستدعي سيارة إسعاف عن طريق الاتصال مع قمر اصطناعي لتحديد الموقع GPS الذي سأناقشه فيما بعد، وسيمكنه أيضا من بث موقعك الدقيق. وفي الوقت الحاضر يموت عشرات الآلاف من الناس بلا سبب، وذلك لعدم وجود شخص ينبه الطوارئ، حين تحدث نوبة قلبية أو حادث اصطدام.

الغرفة الذكية

إن أحد الأهداف البعيدة لمختبر الوسائط، هو إمكان تصميم آلات يمكنها أن تميز أساليب تواصل الناس مع بعضهم وتقلدها، فالناس لا يستخدمون اللغة فحسب، فنحن نستخدم لغة جسدية غنية ومعقدة مؤلفة من مجال عريض ومختلف من الإشارات للاتصال مع الآخرين، بما في ذلك الاتصال بالعين، وتعابير الوجه وغمزاته وحركات الذراع ونغمة الصوت ووضعية الجسم، ويمثل تصميم الغرفة الذكية خطوة في هذا الاتجاه، حيث لا تتعرف هذه الغرفة على الناس فحسب، وإنما على إشاراتهم وعواطفهم.

إن نموذج مختبر الوسائط عن الغرفة الذكية في المستقبل، هو مكان مجهز بكاميرات صغيرة موضوعة في السقف، وبشاشة كبيرة في حجم الجدار على الأرض. ويكتب ألكس بنتلاند من مختبر الوسائط في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا قائلا: «تصور منزلا يعرف باستمرار مكان وجود أطفالك، ويخبرك إذا كانوا يواجهون أي مشكلات، أو مكتبا يرى إذا كان لديك موعد مهم ويحميك مما يعطلك عن ذلك، أو سيارة تحس إذا كنت متعبا، وتحذرك بأن عليك أن تتوقف».

لا يمكن لأجهزة الكمبيوتر اليوم، أن تتعرف بشكل موثوق على وجه شخص ما من زوايا مختلفة. فالوجوه هي من بين أصعب الأشياء، التي يمكن تمييزها بواسطة كمبيوتر، ومع ذلك فإن كمبيوتر مختبر الوسائط يختصر الطريق إلى هذه المسألة الصعبة، فلديه مسبقا سلسلة من الوجوه الرئيسية مخزنة في ذاكرته، وإذا مسح الكمبيوتر وجه شخص غريب وطابقه مع وجه مسجل في الذاكرة، يمكنه عندئذ أن يحدد على نحو دقيق تشابها مع أحدها، أي ٩٩ في المائة من الحالات، في مجموعة تتألف من عدة مئات من الأشخاص.

ويمكن لأجهزة الكمبيوتر، في مختبر الوسائط، أن تتعرف أيضا على مزاج الشخص عن طريق وجهه، فالعواطف ترتسم على وجوهنا بالحركات التي تحدثها في هذه الوجوه، وبوضع أجهزة استشعار على وجوه الناس وجعلهم يبتسمون ويضحكون ويتكلفون الابتسام أو يعبسون، يمكن لهذه الأجهزة أن تكتشف مقدار حركة عضلات وجوهنا. لقد وجد العلماء أن من الممكن التعرف على العواطف بواسطة أجهزة الكمبيوتر، نتيجة لحركات الانبساط التي تحدثها في الوجه، فالابتسامة مثلا تؤدي إلى انبساط عريض لعضلات فمنا، وتعمل الدهشة على رفع الحواجب، ويقود الغضب إلى تقطيب الجبين، ويخلق الامتعاض أو القرف حركة على كامل الوجه، ولذا فعندما ركز الكمبيوتر على أجزاء الوجه التي هي في حالة حركة، استطاع في الاختبارات، أن يتعرف بشكل صحيح على الحالة العاطفية للشخص حوالى ٩٨ في المائة من المرات.

البطاقات الذكية والنقود الرقمية والمال السبراني

إن النقود بسبيلها الآن لتصبح رقمية على نحو مطرد، وكما علق جيمس جلايك من صحيفة نيويورك تايمز، فإن «النقود الرقمية هي نقود تتجسد في

نهاية الأمر في شكل معلومات بحتة». لقد أصبح هذا الأمر واقعا الآن بالنسبة للبنوك الكبيرة والمؤسسات الدولية، ومن حوالى ٤ تريليونات دولار تُداول في الولايات المتحدة، فإن العُشر منها فقط هو على شكل نقد حقيقي وعملات مخزنة في صناديق البنوك وجيوب الناس. ويعلق كاويكا داجيو من رابطة المصرفيين الأمريكيين على ذلك قائلا: «إن الناس اليوم لا يضعون ٥ بلايين دولار في شاحنة ويذهبون بها من بنك إلى أخر، إن هذا عمل غير معقول»، وفي المستقبل سيختفي، حتى هذا العُشر، ويصبح إلكترونيا، وعندما تبهط تكلفة الشرائح الدقيقة في السنوات القادمة إلى مجرد بنسات، سيكون هناك ضغط اقتصادي كبير على الناس، للتحول إلى البطاقات الذكية والنقود الرقمية، ويعود هذا إلى أن الإبقاء على مجتمع قائم على النقد عملية مكلفة جدا، وترى كارول فانشر الباحثة المتخصصة في البطاقات الذكية لدى شركة موتورولا «أن عد النقد ونقله وتخزينه وحمايته يكلف حوالى ٤ في المائة من قيمة كل التبادلات، كما أن الفائدة المفقودة من جراء الاحتفاظ بالنقود، بدلا من حفظها في حسابات ادخارية، كبيرة أيضا». ويقول شولوم روزن من سيتي بانك «إن المال دين على أحد البنوك، هذا هو الأمر ببساطة، ولم يعد ذهبا ولا فضة أيضا». إن النقد القابع في البنك هو مال لا يجلب فائدة، ولا يزداد قيمة ويجب دوما حمايته.

لقد احتلت أوروبا الصدارة في الإنتاج الكبير للنسخ الأولية من البطاقات الذكية، التي تتضمن بضعة كيلوبايتات من الذاكرة، ويعد استخدام المستهلكين لهذه البطاقات، كبطاقات هاتف بشكل رئيسي في فرنسا، برهانا على ما لها من قيمة، حيث يستخدم أكثر من ٢٠ مليون بطاقة ذكية، وكذلك الحال في باقي أوروبا، حيث أُصدر معظم الـ ٢٥٠ مليون بطاقة ذكية الموجودة في حيز التداول. ولقد بدأت ألمانيا بإصدار بطاقات ذكية تحمل معلومات صحية أساسية لكل مواطنيها، وشهدت دورة الألعاب الأولمبية في أتلانتا عام ١٩٩٦ أكبر تجربة، لاستخدام البطاقات الذكية في الولايات المتحدة، حيث أُصدر أكثر من مليون بطاقة اعتمدت من قبل المطاعم والمحال وشبكة قطارات الأنفاق، وستحل البطاقات الذكية في المستقبل محل بطاقات للهاتف والقطار والترانزيت وبطاقات الاعتماد، والبطاقات التي تستخدم لعدادات وقوف السيارات، ولتحويل مبالغ نقدية صغيرة ولآلات البيع، وسوف تخزن أيضا

تاريخك الطبي وسجلات الضمان ومعلومات عن جواز السفر وكامل سجل صور العائلة، ويمكنها حتى أن تتصل بشبكة الإنترنت.

السيارات الذكية

وحتى صناعة السيارات، التي بقيت غالبا من دون تغيير على مدى السبعين عاما المنصرمة، ستشعر بتأثيرات ثورة الكمبيوتر، وتصنف صناعة السيارات ضمن أقوى الصناعات، وأكثرها ربحية في القرن العشرين. وهناك في الوقت الحاضر ٥٠٠ مليون سيارة على سطح الكرة الأرضية، أو بحدود سيارة لكل عشرة أشخاص، وتبلغ مبيعات صناعة السيارات بحدود تريليون دولار، مما يجعلها أكبر صناعة إنتاجية في العالم. وسوف تتغير السيارات والطرق التي تسير عليها جذريا في القرن الحادي والعشرين، وسيكون المفتاح لسيارات الغد الذكية، هو أجهزة الاستشعار. ويتنبأ بيل شبرايتزر المدير الفني للبرنامج، الذي يصمم السيارة الذكية والطرق في المستقبل في شركة جنرال موتورز «سوف نرى سيارات وطرقات ترى وتسمع وتشعر وتشم وتتحدث وتتصرف». ويموت حوالى ٤٠٠ ألف شخص كل عام بسبب حوادث السير في الولايات المتحدة، إن عدد الأشخاص الذين يقتلون أو يشوهون بشكل مفجع بسب حوادث السير كبير جدا، بحيث إننا لم نعد نتكلف عناء ذكره في المجلات والصحف، ويأتي نصف هذه الحوادث المميتة من السائقين السكارى، كما يأتي عدد كبير آخر من الاستهتار، ويمكن لسيارة ذكية أن تتخلص من معظم حوادث السير هذه، فهي تستطيع أن تشعر إذا كان السائق ثملا بواسطة أجهزة استشعار إلكترونية، تلتقط بخار الكحول من الهواء، وترفض أن تبدأ بتدوير المحرك، ويمكن للسيارة أيضا أن تنذر الشركة وتعطي موقعها الدقيق لهم إذا سُرقت. ولقد صممت سيارات ذكية يمكنها مراقبة قيادة الإنسان للسيارة، ومراقبة ظروف القيادة المحيطة به أيضا، ويمكن لرادارات صغيرة مخبأة في مصد السيارة أن ترصد السيارات القريبة، وإذا ما اقترفت خطأ في القيادة (مثل تغيير مسار السيارة، في الوقت الذي توجد فيه سيارة أخرى بالقرب من سيارتك في مكان لا تستطيع رؤيته، أو ما يسمى بالنقطة العمياء، فإن الكمبيوتر يصدر إنذارا مباشرا).

وفي مختبر الوسائط، في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، يجري بناء نموذج أولي، يحدد مقدار نعاسك وأنت تقود سيارتك، وهذا أمر مهم جدا بالنسبة لسائقي الشاحنات عبر المسافات الطويلة. إن التحديق الممل والمنوم مغناطيسيا تقريبا في خط تقسيم الطرق لساعات طويلة، قد أهمل تأثيره جدا، ويمكن أن يكون خطرا يهدد الحياة، وللقضاء على هذا الخطر تخبأ آلة تصوير صغيرة جدا في مقدمة السيارة، وتدرب على وجه السائق وعينيه، فإذا أغلقت أجفان السائق لفترة معينة من الوقت، وأصبحت قيادته غير مستقرة، يمكن لكمبيوتر في مقدمة السيارة أن ينبه السائق إلى ذلك.

ومن الأمور الباعثة على الضيق والإحباط في قيادة السيارات: الضياع، والانحشار ضمن طابور السير، وفي حين أنه من غير المحتمل أن تعالج ثورة الكمبيوتر هذه المشكلات، فإن تأثيرها سيكون إيجابيا: فأجهزة في سيارتك المولفة على موجات الراديو من الأقمار الاصطناعية، يمكنها أن تحدد موقع سيارتك بدقة في أي لحظة، وأن تنبهك إلى وجود اختناقات مرورية، ولدينا حاليا ٢٤ قمرا اصطناعيا (نافستار) للمراقبة تدور حول الأرض، مشكّلة ما يدعى بنظام تحديد الموقع العالمي GPS، وبإمكانها تحديد موقعك على سطح الأرض إلى حوالى ١٠٠ قدم، وفي أي لحظة هناك عدد من أقمار مراقبة الموقع، التي تدور في الأعلى على مسافة ١١ ألف ميل، ويحتوي كل قمر على أربع (ساعات ذرية)، تعمل بذبذبات ترددية دقيقة حسب قوانين نظرية الكم، وعندما يمر القمر فوقك يرسل إشارة بالراديو ، يمكن اكتشافها بواسطة مستقبل في حاسوب السيارة، ويقوم الكمبيوتر بحساب بعد القمر عن طريق قياس الفترة، التي استغرقتها الإشارة للوصول. وبما أن سرعة الضوء معروفة بشكل جيد، فإن أي تأخير زمني في التقاط إشارة القمر، يمكن أن يحول إلى مسافة. وفي اليابان هناك أكثر من مليون سيارة، تحتوي على شكل من أجهزة الملاحة (ويحدد بعضها موقع السيارة بإيجاد علاقة بين دوران عجلة القيادة وموقع السيارة على الخريطة).

ونظرا لانخفاض سعر الشرائح الدقيقة الشديد، فإن التطبيقات المستقبلية لنظام الـ GPS في القرن الحادي والعشرين لا حدود لها، ويقول راندي هوفمان من مؤسسة ماجيللان التي تصنع أنظمة الملاحة «إن الصناعة والتجارة هي في مرحلة نمو انفجاري»، ويمكن للعميان أن يستخدموا أجهزة استشعار متصلة بأقمار المراقبة GPS في عصي المشي، كما يمكن للطائرات

أن تهبط بالتحكم عن بعد، ويمكن لمحبي رياضة المشي أن يحددوا موقعهم في الغابات، وهكذا فإن قائمة المستخدمين المحتملين لهذا النظام لا نهاية لها.

إن نظام الاستشعار عن طريق أقمار المراقبة هو في الواقع جزء من حركة أكبر تدعى التحكم عن بعد Telematics، والتي تحاول في نهاية المطاف أن تصمم سيارات ذكية على طرق ذكية، والنماذج الأولية لمثل هذه الطرق موجودة بالفعل في أوروبا، وتجرى تجارب في كاليفورنيا لتركيب: شرائح كمبيوتر وأجهزة استشعار وأجهزة بث لاسلكية على الطرق السريعة، لتنبيه السيارات الى اختناقات السير وتعطل الطرق.

وعلى طول ثمانية أميال على طريق عام، على بعد ١٠ أميال شمالي سان دييجو، يركب مهندسو المرور نظاما مصمما من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، سيقوم بإدخال «السائق الآلي»، ويتضمن هذا المشروع أجهزة كمبيوتر تساعدها آلاف القضبان المغناطيسية بطول ثلاث بوصات مطمورة في الطريق السريع، بحيث تتحكم تماما في قيادة السيارات على طريق مزدحمة جدا بالسير، وسوف توضع السيارات في مجموعة من ١٠ ـ ١٢ سيارة يبعد كل منها عن الآخر ٦ أقدام فقط، تتحرك مع بعضها بتناسق، ويتحكم فيها بواسطة كمبيوتر، وبحلول ديسمبر عام ٢٠٠١، يأمل المهندسون أن يدخل أول نظام آلي نموذجي كامل من هذا النوع حيز التشغيل.

ولدى المطورين للطريق السريع المحوسب، آمال كبيرة حول مستقبله. وبحدود عام ٢٠١٠ يمكن أن يتم إدخال التحكم عن بعد في إحدى الطرق السريعة في الولايات المتحدة، وإذا كان المشروع ناجحا فبحلول عام ٢٠٢٠، ومع انخفاض سعر الشرائح الدقيقة إلى أقل من بنس للقطعة، يمكن استخدام التحكم عن بعد على طول آلاف الأميال على الطرق العامة في الولايات المتحدة، ويمكن أن يكون لهذا ميزة بيئية أيضا، إذ إنه يخفض الوقود، ويقلل من اختناقات السير، وينقص من تلوث الهواء، ويخدم كبديل عملية التوسع في بناء الطرقات السريعة.

الواقع الافتراضي وعلم السبرانية

ستصبح تكنولوجيا (الواقع الافتراضي) جزءا لا يتجزأ من العالم عام ٢٠٢٠. إن الحوسبة المخفية هي، من أحد الوجوه، نقيض الواقع الافتراضي، الذي يحاول

إعادة خلق عوالم غير موجودة بدل أن يشدد على العالم الموجود فعلا. ويحاول الواقع الافتراضي أن يخلق عالما ضمن ذاكرة الكمبيوتر عن طريق استخدام النظارات وعصي الألعاب، ليحاكي عملية الانتقال ضمن الزمان والمكان، ولكن الحوسبة المخفية والواقع الافتراضي يكملان بعضهما بعضا، بينما يوسع الكمبيوتر المخفي العالم الموجود بشكل لا نهائي عن طريق وضع الذكاء في الأجسام غير الحية، التي تحيط بنا، فإن الواقع الافتراضي على النقيض من ذلك يضعنا داخل الكمبيوتر.

وعلى الرغم من أن الواقع الافتراضي Virtual reality لا يزال بدائيا اليوم، فإن عيوبه الفنية ستختفي مع الزمن، وستُستبدل أطقم الملابس وأجهزة استشعار المجال الكهربائي التي ستحس بموقع كل جزء من جسمنا في الأبعاد الثلاثة، بعصي اللعب البدائية، كما ستُستبدل النظارات بشاشات البلورات السائلة LCD خفيفة الوزن، وسوف تحل أجهزة الاستقبال المربوطة مباشرة مع الإنترنت محل الأسلاك الغليظة.

إن (الواقع الافتراضي) أداة عملية قوية، كما أنه يساعد في التدريب وهو مصدر للتسلية، يخلق نوعا جديدا من العلم يدعى «العلم السبراني»، الذي يعطينا القدرة على محاكاة أنظمة فيزيائية معقدة مثل: الثقوب السوداء والنجوم المتفجرة والمناخ وسطوح الطائرات النفاثة الأسرع من الصوت.

لقد تقدم العلم خلال قرون عدة خلت بطريقتين: تجريبيا ونظريا، فلقد أجرى بعض العلماء تجارب على العالم الخارجي، بينما حاول آخرون وضع الرياضيات والنظرية التي تفسر البيانات المجموعة، ولكن نوعا جديدا ثالثا من العلم بدأ بالظهور تدريجيا، وهو علم مبني على المحاكاة على الكمبيوتر للواقع الافتراضي، فاتحا مجالات أخرى للعلم. لقد وصفت الطبيعة منذ نيوتن (بمعادلات تفاضلية) تصف الاختلافات البسيطة، التي تحدث في شكل الجسم أو خاصته مع تطور الزمن. ومن المدهش أن العلاقات التفاضلية تمكنت من أن تقدم أوصافا واقعية للظواهر الفيزيائية من العواصف إلى الصواريخ والجسيمات تحت الذرية، وتلائم أجهزة الكمبيوتر بشكل مثالي نمذجة المعادلات التفاضلية، لأنها يمكن أن تحسب تغييرات الجسم كل ميكروثانية أو نانوثانية، مما يعطينا سلسلة من اللقطات الصغيرة، التي تتنبأ بشكل واقعي بتصرفه.

لقد أصبحت محاكاة الكمبيوتر دقيقة جدا، بحيث إن حقولا بأكملها أصبحت تعتمد بشكل حاسم عليها، وستؤثر هذه بدورها في تطوير تكنولوجيات تقدر قيمتها بعدة ملايين من الدولارات. وفي مجالات عدة فإن أجهزة الكمبيوتر هي الطريقة (الوحيدة) لحل مثل هذه المعادلات التفاضلية، وفيما يلي القليل فقط من الأشياء، التي يمكن دراستها بشكل أفضل بواسطة علم السبرانية:

الأجسام الغريبة في الفضاء

نعتمد على أجهزة الكمبيوتر في تحليل النجوم الملتهبة والنجوم النيوترونية والثقوب السوداء، ويقول روس فرايكسيل، من وكالة الفضاء والطيران الأمريكية ناسا «إن المحاكاة بالكمبيوتر هي أملنا الوحيد في تحويل علم الفلك إلى علم تجريبي».

كشف تركيب البروتين

عندما لا نتمكن من تحويل البروتين إلى بلورات لا يمكننا أن نستخدم التصوير بأشعة إكس لتحديد بنيته، ويضطر العلماء عند ذلك إلى استخدام نظرية الكم والكهرباء الإستاتيكية لتحديد بنية البروتين، ولا يمكن حل المعادلات المعقدة، التي تحدد بنية أو تركيب هذه البروتينات إلا باستخدام الكمبيوتر، وقد تكون الحواسب هي الطريقة الوحيدة الممكنة لحساب بنية فئة كبيرة من البروتينات، وبالتالي معرفة خواصها.

الديناميكا الهوائية

من الممكن محاكاة تدفق الهواء حول كل شيء من السيارات إلى الطائرات النفاثة فوق الصوتية بواسطة الكمبيوتر، وقد يكون هذا هو السبيل لجعل استخدام الطائرات الأسرع من الصوت في الرحلات الجوية رخيصا في المستقبل.

ظاهرة الاحتباس الحراري

وأجهزة الكمبيوتر هي الوسيلة الوحيدة لدينا في الوقت الحالي، لنقرر إذا كان من المحتمل أن يسبب تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (والناجم عن حرق الوقود الأحفوري) ارتفاع درجات الحرارة، مما يؤدي إلى تسخن الأرض، وإذا ما أصبح تسخن الأرض حقيقة واقعة في أوائل القرن الحادي والعشرين، واضطرب المناخ نتيجة لذلك، فإن اقتصاد العالم بكامله سيتأثر سلبا نتيجة لذلك.

اختبار المواد

يمكن حساب الإجهاد والشد للمواد الصناعية بشكل أفضل باستخدام الكمبيوتر مما يؤدي إلى توفير ملايين الدولارات في اختبارات غير ضرورية.

حاجز النقطة واحد.. هل ينهي عصر السيليكون الذهبي؟

لقد رأينا كيف أن تقدم قانون مور المستمر يجعل من الممكن التنبؤ بدقة مقبولة، متى ستكون أجهزة الكمبيوتر الجديدة والمدهشة في متناول اليد، ومتى ستكون المعالجات الدقيقة وأشعة الليزر وأجهزة الاستشعار هي الأدوات التي تجعل الطور الثالث للكمبيوتر أمرا واقعا. ومن المفترض أن يقودنا قانون مور بسهولة إلى حوالى عام ٢٠٢٠، حيث سيضطر العلماء، وفقا لنظرية الكم، إلى ابتكار حواسيب ذات بنية جديدة بالكامل. حينها سيبدو عدم التوصل إلى شرائح جديدة باستخدام أشعة ضوئية أقل من ميكرون عقبة رئيسية في هذا السبيل، ويطلق البعض اسم حاجز «النقطة واحد» (التي يصل عرضها إلى ما يقارب عرض جديلة «د.ن.أ») ويقارن بعض المختصين في الحاسوب بين صعوبة تحطيم حاجز النقطة واحد وتحطيم حاجز الصوت، فتحت حاجز النقطة واحد لا يمكن نقش الشرائح بواسطة الضوء فوق البنفسجي، وعلى العلماء اللجوء إلى أشعة إكس، أو إلى الإلكترونات وهي أكثر صعوبة، من زاوية القدرة على التحكم فيها. وفضلا عن ذلك فإن الخصائص الموجية الشجية للإلكترونات والذرات، تؤثر عند هذا المستوى، مما يستدعي تخلي العلماء عن قوانين نيوتن الفيزيائية بالكامل في

أثناء تصنيع شرائح أصغر، ولهذا السبب نتوقع أن ينهي حاجز النقطة واحد عصر السيليكون الذهبي.

ويحب بعض المستقبليين، في مختبر معهد التكنولوجيا في ماساشوستس للوسائط، أن يلخصوا الانتقال إلى اقتصاد المعلومات على أنه مثل الفرق بين الذرات والبيتات Bits (وهي أصغر وحدة معلومات مثل ٠ أو ١). وبما أنه من الصعب والمكلف تحريك الذرات، فإنهم يزعمون أن المستقبل سيكون محكوما بالبيتات، التي ترسل من دون جهد في الأسلاك والكابلات على شكل إشارات رقمية بسرعة الضوء تقريبا، ولذا فإنهم يدعون أن عصر الذرات سيتنحى عن الطريق إلى الفضاء السبراني وعصر المعلوماتية.

ولكن هذا صحيح إلى درجة ما، وسيخضع قانوم مور، وهو بمنزلة القوة الدافعة وراء عصر المعلوماتية، في نهاية المطاف، إلى قوة أخرى أقوى من قوة الكهرباء، وهي نظرية الكم، وستثأر الذرات في النهاية من البيتات. لقد كانت نظرية الكم هي التي جعلت الترانزستور ممكنا لأول مرة، وستقرر هذه النظرية في النهاية متى تفشل هذه التكنولوجيات. وبحلول عام ٢٠٢٠ فإن الثورة التي أطلقها المعالج الدقيق (الميكروبروسيسور) قد تنتهي. وعلى الفيزيائيين أن يستنبطوا الجيل القادم من أجهزة الكمبيوتر.

ولكن بما أن قانون مور سيستمر دون توقف على مدى الخمس والعشرين عاما القادمة، أو ما يقرب من ذلك، وبحشو كميات متزايدة من الترانزستورات على شريحة سيليكونية. فلا يزال من الممكن التنبؤ بشكل تقريبي بموعد وصول هذه الاختراعات الرائعة، التي شرحت في هذا الفصل والفصل الذي يليه، إلى السوق من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ تقريبا.

وأبعد من ذلك، فمن المحتمل أن تخلق الإنترنت، بحلول عام ٢٠٢٠، كونا كاملا في الفضاء السبراني، يتضمن التجارة والنقود والمكتبات الإلكترونية والجامعات الافتراضية، العاملة على الخط المباشر والطب السبراني... وغيرها. ولكن العالم بعد ٢٠٢٠ سيكون أكثر إثارة، عندما تصبح أجهزة الكمبيوتر قوية جدا ومنتشرة، بحيث يصبح سطح الأرض غشاء «حيا» يتمتع بـ «ذكاء» كوكبي، خالقا (المرآة السحرية) الأسطورية، التي ذكرت مرارا في الحكايا الخرافية. وسأتفحص في الفصل القادم هذا الطورالرابع من أجهزة الكمبيوتر عند حديثنا عن (الكوكب الذكي).

3 الكوكب الذكي

كتب الروائي الأمريكي ناثانيل هاوثورن عام ١٨٥١ متنبئا في (منزل المثلثات السبعة) «إنها لحقيقة... أن عالم المادة أصبح بواسطة الكهرباء عصبا ضخما، يهتز على مدى آلاف الأميال في فترة قصيرة جدا من الزمن. وبالأحرى، فإن الكرة الأرضية الوعرة عبارة عن دماغ كبير وعقل وغريزة وتتسم بالذكاء!» لقد تعجب هاوثورن وهو يراقب التطورات الخارقة، التي حدثت في أيامه في ربط المدن الكبرى في العالم بواسطة التلغراف من هذه المادة السحرية التي تدعى الكهرباء، والتي تستطيع إرسال شارات عبر آلاف الأميال، وتجعل الآلات الخاملة تقفز فجأة إلى الحياة. ولقد ذهب أبعد من ذلك، ليتصور يوما رائعا تمنح الكهرباء فيه العالم ذاته ذكاء كونيا. وبعد قرن من هذا سيلهم هذا المقطع من هاوثورن مارشال ماكلوهان لصياغة عبارة (القرية العالمية). وستجعل ثورة الاتصالات في القرن الحادي والعشرين، التي أضرمت بواسطة المعالج الدقيق والليزر، رؤية هاوثورن شيئا من الماضي.

«تشبه الإنترنت موجة مد بارتفاع ٢٠ قدما تأتي من آلاف الأميال عبر المحيط الهادئ ونحن في زورق جلدي. إنها قادمة من آلاف الأميال عبر المحيط، ويزداد زخمها قوة وسترفعك للأعلى ثم تسقطك للأسفل... إنها تؤثر في كل إنسان في مجالات صناعة الكمبيوتر و وسائل الاتصال وأجهزة الإعلام وكذلك تؤثر في صانعي الشرائح وعالم البرامج. وبعض الناس يدرك هذا الأمر أكثر من الآخرين».

أندرو جروف

شركة إنتل

«أيتها المرآة. أيتها المرآة المعلقة على الجدار، مَن الأكثر جمالا من الجميع؟»

الملكة الشريرة

في قصة «الأميرة الصغيرة والأقزام السبعة»

وفـي الطـور الـثـالـث مـن أجـهـزة الـكـمـبـيـوتـر، سـتـتكلم الأجـهـزة مع بعـضـهـا خـالقـة في المحـصلة غـشـاء إلكـترونيـا نابضـا يلف سطـح الكرة الأرضـيـة. ونلحظ من الآن لمحـات خاطفـة من هذه الرؤية القـوية، ممثلة في شـبكـة الإنتـرنـت الحـاليـة والتـي هـي بمنزلـة طريـق ترابـي، ينتـظر أن يعبـد ليتـحـول إلى طريق سـريع للمـعلومـات، يربط بسـرعـة كل أجـهـزة الكمبيوتر في العالم.

ويتـوقع علمـاء الـكمـبـيـوتـر رؤية عـالم بكامله، يزدهـر حـول الإنتـرنت من الآن وحـتـى عـام ٢٠٠٢: التـجـارة والصـيـرفـة الإلكـترونيـتـين والمدراس والجامعـات الافتراضيـة والأسـواق والمكتبات السبرانـيـة... إلـخ. وسـوف نـرى لمحـة مـن رؤيـة هـاوثـورن عندمـا يصـبـح (الوكـلاء الأذكـيـاء) جـزءا مـن هـذه الشـبكـة العـالمـيـة، قـادريـن علـى الإجـابـة عـن أسـئلتـنـا بلغـة تحاوريـة بسيطـة. ولكـن الإنجـاز الحقيقـي لرؤيـة هـاوثـورن قـد لا يأتـي حـتـى الفـتـرة مـن ٢٠٢٠ وحـتـى ٢٠٥٠، عندمـا تضـاف في نهـاية المطاف برامـج ذكيـة حـقـيـقـيـة، قـادرة على التـفكيـر والإدراك السـليم وتمييـز الخطاب إلى الشبكة.

ويطلق البـعض على هذا اسم (الطور الرابـع) من الكمبيـوتـر، وهـو الطـور الذي نصبح فيه قـادرين على التواصل مع الإنتـرنت، كمـا لو كـانت شـخصـا ذكيـا. وفي نهاية المطاف قد يشبه التـواصل مع الإنترنت التـحدث إلى المرآة السـحـرية في حكايات الأطفـال الخـرافيـة. وبدلا من طباعـة رموز غامضـة وشـفـرات سـرية على برامج تصـفـح الشـبكة، والحصـول على سـيل من ٥٠ ألف جواب غير صحيح، سنتكلم في المستقبل ببساطة إلى شاشة الحائط، أو إلى مشبك ربطة العنق، وسنتصل بجسم المعرفة الهائل للكون بأكمله. وقـد تـعـمل هـذه المرآة السـحـرية التي منـحت نظامـا ذكـيـا يتـمـتـع بالذوق والتفكير وجها إنسانيا وشخصية مميزة تعمل كمستشار أو مساعد أو كاتم أسـرار أو سكرتيرة أو خادم أو هـذه الأعمال جميعـا في الوقت ذاته. ولقد علق أحد مـحللي الكمبـيـوتر قـائلا إن المسـتـقـبل قـد يشـبـه فـيلمـا لوالت ديزيني، حـيث تبعث الأشـيـاء غـيـر الحـيـة إلى الحـيـاة، وتتكلم مع بعضـهـا البعض ومعنا، تماما مثل إبريق الشاي المتكلم المدعو السيدة بوتس في فيلم الجميلة والوحش.

لماذا لا يوجد شرطي في المجمع السكني؟

بالنسبة لأي شخص لعن ذات مرة شاشة الكمبيوتر، أو شجب الفوضى التامة في شبكة الإنترنت، فإن فكرة الحصول يوما ما على محادثة مفيدة وملهمة مع مرآة سحرية يبدو واقعا بعيدا. إن وعد هاوثورن (بكوكب ذكي) لا يزال بعيدا جدا عن الواقع الهش لشبكة الإنترنت الحالية. وأي مبتدئ يخوض عباب الشبكة، للمرة الأولى، سيخيب أمله بحقيقة أنها لاتملك ذكاء من أي نوع: فهي لوح فارغ كطفل حديث الولادة. والأسوأ من ذلك عدم وجود قواعد أو شرطة مرور، وعدم توافر قوانين أو حتى دليل للإنترنت، ولكن بعض المتحمسين للحاسوب مسرورون جدا من هذا الواقع، ويدعون أن هذه هي الديموقراطية في أنقى وأكمل مظاهرها. أما الآخرون فيتخبطون من دون جدوى ويبتعدون وهم مشمئزون.

ومنذ فترة جمع هواة الكمبيوتر الشباب الذين حاولوا ملء هذا الفراغ الغريب ثروات ضخمة، بين عشية وضحاها، عندما تحولت شركاتهم إلى شركات عامة، وذلك بكتابة أدلة بسيطة للإنترنت. لقد ارتفعت ثروة الشريك المؤسس لشركة نيتسكيب جيم كلارك إلى مبلغ مذهل بلغ نصف بليون دولار ، غداة تحول شركته إلى شركة مساهمة عامة (وصل كلارك إلى وضع البليونير بعد ١٨ شهرا فقط من بدء شركته، بينما استغرق ذلك من بيل جيتس الشريك المؤسس لشركة مايكرو سوفت حوالى ١٢ سنة). وكتبت صحيفة نيويورك ديلي نيوز بإعجاب «لقد كانت شركة نيتسكيب الأكثر نجاحا منذ أن خلق الله الأرض». لماذا ولدت الإنترنت والتي هي بمنزلة المرحلة الأولى من «الكوكب الذكي» بهذه الطريقة الغريبة ومن دون أي ذكاء على ما يبدو؟

لقد طور علماء البنتاجون كثيرا من العجائب الإلكترونية اليوم، بما في ذلك المؤتمرات الفيديوية، والواقع الافتراضي والأقمار الاصطناعية والإنترنت وأبقوا عليها في سرية تامة، بعيدة عن عيون الجمهور. ويشعر بعض محللي الحاسوب أن هذا الشغف بالسرية، في أثناء الحرب الباردة، أخّر ثورة الحاسوب سنوات عدة، وهو المسؤول عن التطور غير المتسق لهذه التكنولوجيات، تاركا ثغرات غريبة لم تسد إلا الآن من قبل مبرمجي الحاسوب.

ولم تطلق هذه التكنولوجيات إلى ميدان الاستخدام العام إلا مع انتهاء الحرب الباردة في العقد الماضي. وبتحررها من السرية العسكرية لأول مرة، انطلقت هذه التكنولوجيات مثيرة خيال وإعجاب الجمهور، ومولِّدة صناعات جديدة ببلايين الدولارات في أثناء ذلك، ممهدة الطريق نحو القرن الحادي والعشرين. وربما كان الدرس الذي نتعلمه من هذه التجربة، هو أن العلم والتكنولوجيا يتطوران ويزدهران في جو منفتح، عندما يتفاعل المهندسون والعلماء بحرية مع بعضهم البعض.

كيف ظهرت الإنترنت والتكنولوجيات الأخرى؟

في يناير عام ١٩٧٧ وقع حادث غريب وطائش في البيت الأبيض يساعد على شرح الجو الغامض الذي ولدت فيه الإنترنت، وكان من الممكن أن يكون هذا الحادث مضحكا لولا أنه كان خطيرا جدا. وكما في مشهد من فيلم (دكتور سترنجلُف Dr. Strangelove)، كان زبجنيو بريجينسكي مستشار الرئيس جيمي كارتر للأمن القومي، يستمع إلى تقرير من ضابط صغير حول الخطط المفصلة لحماية رئيس الدولة، في حالة قيام حرب نووية شاملة. وقد شرح الضابط الشاب بالتفصيل أن طائرات الهليكوبتر ستهبط على البيت الأبيض ومبنى الكابيتول والبنتاجون لأخذ الرئيس ومستشاريه إلى مواقع مخبأة بعناية، بما في ذلك ملاجئ سرية بالقرب من كاليبير في فرجينيا.

وبينما كان الضابط مستمرا في شرحه، قاطعه بريجينسكي فجأة وطلب منه القيام بذلك فورا.

- الآن؟ سأله الموظف وهو غير مصدق.

- نعم، الآن: رد عليه بريجينسكي بحدة.

وقال بريجينسكي «لقد خرجت عينا الضابط المسكين من حدقتيهما وبدا مندهشا جدا... ثم تحرك نحو جهاز الهاتف، وبصعوبة تمكن من الكلام بشكل متسق، عندما طلب أن تحضر الهليكوبتر فورا لإجراء التجربة». وبعد عدة ساعات مضنية وسلسلة من الأغلاط المحرجة والأخطاء المميتة الجديرة بـ (المهرجين الثلاثة)، عادت طائرة الهليكوبتر التي تحمل بريجينسكي إلى

واشنطن أخيرا. ولكن المهزلة استمرت بعد ذلك، فقد فزع حراس الأمن عندما رأوا طائرة هليكوبتر غير مرخص لها، وقد تكون معادية، تقترب من البيت الأبيض، وعلى الفور استنفروا وتراكضوا إلى مواقعهم مع بنادقهم الآلية، مستعدين لإسقاط طائرة بريجينسكي. لقد كان هذا الفشل الذريع اختبارا عمليا مفيدا للبنتاجون وضّح الثغرات الكبيرة في خططه العظيمة لـ«مكسب» حرب نووية. ولمواجهة هذا التحدي اقترحت وكالة مشاريع البحوث المتقدمة في البنتاجون عدة تكنولوجيات حاسوبية مبتكرة، وطورت التكنولوجيات الموجودة مسبقا وهي:

المؤتمرات عن بعد

أراد البنتاجون أن يتأكد من أن قيادة الولايات المتحدة ستبقى لتقود القوى النووية خلال تطور الحرب. وبينما يضرب باقي الكوكب بالقنابل ليصبح خرابا مشعا، يقود زعماؤنا أسطولنا القوي في أمان وراحة من الطائرات النفاثة، التي تحلق على ارتفاع عالٍ، أو التي تكون في مستودعات مكيفة بالهواء تحت سطح الأرض. وسيوزع خمسة من كبار الموظفين، بمن فيهم الرئيس ونائبه ورئيس لجنة رؤساء الموظفين إلى خمسة أماكن مختلفة من الطيران على مستوى مرتفع بطائرة سلاح الجو رقم واحد، إلى الاختباء في أعالي الجبال أو في قيادة في تشاين وايومنج، وسيتصلون ببعضهم من خلال شاشات التلفزيون والكمبيوتر. وكانت هذه الخطة إيذانا بميلاد المؤتمرات عن بعد.

الواقع الافتراضي

أراد البنتاجون التأكد من أن الطيارين سيستطيعون قيادة طائراتهم وقاذفاتهم في أشد الأجواء عدائية وصعوبة، بما في ذلك وجود رياح شديدة ناتجة عن التفجيرات النووية، ولتحقيق ذلك طور البنتاجون محاكيات الطيران التي كانت بمنزلة مولد الواقع الافتراضي. ويقبع الطيارون على كراسيّ ويضعون نظارات فوق أعينهم، ويستخدمون عصا اللعب للتحكم في الخيال

المحاكي من قبل الكمبيوتر الموجود في جهاز على الرأس. ومن خلال نظاراتهم، يتمكنون من رؤية بيئة خيالية من صنع الكمبيوتر تحاكي ظروف الحرب. وقد تمت محاكاة الدبابات والغواصات بسهولة، لأن النظر من خلال النظارات لم يختلف كثيرا عن النظر من خلال المنظار أو البيروسكوب. ومنذ بناء أول عرض في البنتاجون عام ١٩٦٨، انتشرت نسخ أولية من الواقع الافتراضي إلى محلات الفيديو في كامل أرجاء البلاد.

أقمار تحديد الموقع الاصطناعية

أراد البنتاغون التأكد من أن صواريخه تصيب أهدافها؟ ونتيجة لذلك، فقد أطلقت مجموعة من الأقمار حول الأرض لتوجيه طيران هذه الصواريخ، فيما أصبح يعرف بعد ذلك بنظام تحديد الموقع العالمي GPS. لقد كان هذا النظام دقيقا جدا لدرجة أن صاروخا يطلق من الولايات المتحدة، يمكنه أن يضرب ضمن ٣٠٠ قدم هدفا يقع على بعد عدة آلاف من الأميال. وبهذا يمكن للولايات المتحدة، أن تحطم صواريخ العدو وهي في مستودعاتها، وكذلك الغواصات وهي في أحواضها، وقاذفات القنابل في مطاراتها. وأدرك البنتاغون أنه يمكن استخدامها أيضا كسلاح للضربة الأولى، ولنزع سلاح العدو قبل أن يتمكن من الرد على ذلك. وتستخدم الآن هذه الأقمار، التي كانت العمود الفقري لتنفيذ الضربة الأولى، من أجل توجيه سيارات الركاب من ديترويت.

البريد الإلكتروني

أدرك البنتاغون أن على علمائه وفنييه الاتصال ببعضهم خلال حرب نووية وبعدها، ولتسهيل ذلك فإن شبكة كمبيوتر ستكون ضرورية لإعادة بناء المدن المهدمة والاقتصاد المنهار، بعد أن يتم «كسب» الحرب النووية. ويمكن للعلماء الباقين على قيد الحياة أن يوصلوا أجهزتهم بخط هاتفي، للاتصال بالعلماء الآخرين من أجل البدء في عملية إعمار الحضارة الحديثة. ولأن معظم المدن لن تبقى بعد ذلك فيجب تفكيك الرسائل إلى أجزاء متوزعة خلال النظام، وأن تتحرك حول مدن لم تعد موجودة، ثم يعاد تركيبها عندما تصل إلى

غايتها. لقد جمعت وكالة مشاريع الأبحاث المتقدمة الأمريكية هذه الأفكار مع نظام موجود، لتؤسس ما يدعى اليوم بالبريد الإلكتروني.

ولقد كان هناك أيضا شعور بأن هناك وضعا طارئا، حيث كان البنتاجون قلقا من إعادة بناء بقايا الاتحاد السوفييتي المحطم من قبل الولايات المتحدة الأمريكية. فبعد الحرب النووية، سيكون هناك سباق لمعرفة من يستطيع إعادة بناء بلده أولا. وقياسا على سيناريو ملاكمين غائبين عن الوعي، مستلقيين على الأرض، يستعيدان وعيهما ببطء، فإن الرابح من الحرب العالمية الثالثة سيكون البلد الذي يقف على قدميه أولا (وكذلك الأمر بالنسبة للحرب العالمية الرابعة...)، لذا فقد كانت أولوية وزارة الدفاع أن يزود العلماء بطريقة لإعادة بناء البلد بالسرعة الممكنة، وعدم إعاقتهم بتقييدات لا ضرورة لها. لقد كان واضحا أن هذا يعني أن على الشبكة أن توجد من دون «شرطي»، فالقواعد البيروقراطية والرقابة والتدخل الحكومي، يمكنها فقط أن تؤخر إعادة بناء أمريكا في سباقها مع الاتحاد السوفييتي (للدخول في الحرب العالمية الرابعة!)، لقد كان هذا الأمر أحد الأسباب العديدة لبناء شبكة الإنترنت من دون رقابة وقواعد وتعليمات. لقد عُدِّلت أربانت (شبكة مشاريع الأبحاث المتقدمة)، التي صممت لوصل علماء وجامعات البلد لخدمة هذا الغرض. وفي نهاية المطاف أصبحت أربانت هي الإنترنت.

أم الشبكات

عندما أبرق صاموئيل موس في عام ١٨٤٤ الكلمات الخالدة «ماذا صنع الإله؟» من واشنطن إلى بالتيمور، فإنه ساعد على دخول عصر الاتصالات الإلكترونية. وفي ٢١ نوفمبر ١٩٦١، لم يكن هناك حكماء يستشهدون بحكمة عصر المعلومات، عندما اجتمع نصف دزينة من العلماء في بولتر هول، مقر قسم علم الكمبيوتر في جامعة كاليفورنيا لوس انجلوس UCLA، لوصل كمبيوتر الجامعة مع الكمبيوتر المركزي في معهد ستانفورد للبحوث بالقرب من بالو آلتو.

ويتذكر ستيف كروكر الذي كان طالبا حديث التخرج في ذلك الوقت «لم يكن هناك حتى مصور واحد. ولم يخطر ببالنا أنه يجب علينا أن نحضر

واحدا». ولا أحد في الحقيقة يتذكر ماذا قيل في الرسالة التاريخية الأولى، التي وصلت بين جهازي كمبيوتر على مسافة بعيدة.

ولم تصل أربانت في البداية سوى أربعة مواقع معها (جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس وجامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا، ومعهد ستانفورد للبحوث وجامعة أوتا). ولقد نمت أربانت ببطء، وأعيقت عند كل منعطف بسبب طبيعة المشروع السرية، ولأن أجهزة الكمبيوتر في ذلك الوقت كانت على الأغلب غير متوافقة. وبحلول عام ١٩٧١ لم تكن هناك سوى عشرات من المواقع. وبحلول عام ١٩٧٤ نمت أربانت إلى ٦٢ موقعا. وبحلول عام ١٩٨١ تجاوز العدد ٢٠٠. ولم تصل أربانت في النهاية إلى الكتلة الحرجة إلا في منتصف الثمانينيات، حين أتمت عملية التوصيل بين الجامعات والمختبرات.

وعندما انطلقت شبكة أربانت أخيرا، كانت ناجحة جدا إلى أن أوقفت بشكل رسمي عام ١٩٩٠، بعد أن أنهت مهمتها الأصلية. ومع انتهاء الحرب الباردة انتقلت العصا من الجيش إلى المؤسسة العلمية الوطنية، وانطلقت أربانت التي كانت حكرا على الفيزيائيين وعلماء الكمبيوتر إلى ميدان الجمهور العام، عندما تعرف الناس على هذه التكنولوجيا.

وبحلول عام ١٩٩٤ دخلت أكثر من ٤٥ ألف شبكة أصغر في الإنترنت، وفي تلك السنة وضع الفيزيائيون أخيرا بعض النظام في شبكة الإنترنت، التي كانت في البداية بدائية وفوضوية. وبانتهاء الحرب الباردة لم يعد هناك أي حافز لإبقاء الإنترنت من دون قواعد، ولذا قام الرياضي تيم بيرنرز لي الذي عمل في المركز الأوروبي لبحوث الفيزياء/ سيرن / في جنيف بسويسرا بإنشاء الشبكة العنكبوتية العالمية World wide web عام ١٩٩١، والتي مكنت من استخدام الوسائط المتعددة على الإنترنت. وكما صممت أربانت لجمع الفيزيائيين وعلماء التكنولوجيا مع بعضهم البعض خلال حرب نووية وبعدها، كذلك صممت الإنترنت في البداية لتجمع فيزيائيي الجسيمات، ليتمكنوا من تتبع تجاربهم المعقدة، والمعلومات المتراكمة التي انهمرت عليهم.

واليوم تنمو الإنترنت بمعدل قياسي يبلغ ٢٠ في المائة كل ربع عام، ولذا فهي تتضاعف تقريبا كل عام منذ عام ١٩٨٨. وبهذا المعدل فإنها تتخطى

بالفعل معدل نمو الكمبيوتر حسب قانون مور. إنها بالفعل (أم الشبكات) يتصل بها عشرة ملايين جهاز خادم (سيرفر). وإذا أحصينا أولئك الذين يتصلون هاتفيا بهذه الأجهزة من أجهزتهم في المنزل أو العمل، فإن العدد الكلي لمستخدمي الإنترنت في العالم يقارب الـ ٤٠ مليونا. ويتنبأ فينون سيرف ـ أحد الرواد الأوائل في الإنترنت ـ أنه سيكون هناك حوالى ١٦٠ مليون شخص على الإنترنت بحدود عام ٢٠٠٠، إذا ما استمر معدل النمو على حاله. ويقدر نيكولاس نيفروبونت من معهد التكنولوجيا في ماساشوستس بتفاؤل أن بإمكان بليون شخص تقريبا التجول في الإنترنت بحدود ذلك الوقت. وبالتأكيد فإن الإمكانات متوافرة لذلك، فقد خرج حوالى ٦٥ مليون كمبيوتر من المصانع عام ١٩٩٥، وبحلول عام ١٩٩٦ حصل ثلث المنازل في الولايات المتحدة الأمريكية على كمبيوتر، واتصل ما يتراوح بين ١٠ ـ ١٥ في المائة منها بالشبكة.

كم سيكون حجم الإنترنت في المستقبل؟ يقول سيرف «لا أخجل مطلقا من التنبؤ أن الإنترنت ستكون بحدود عام ٢٠٠٥ بحجم شبكة الهاتف اليوم» (هناك الآن ٦٠٠ مليون خط هاتفي مركب في العالم). وسيمهد الحكم المميز الذي صدر عن الهيئة الفيدرالية للاتصالات عام ١٩٩٦ الطريق في النهاية لاندماج التلفزيون والإنترنت. وبما أن ٩٩ في المائة من المنازل في الولايات المتحدة تمتلك أجهزة تلفزيونية (أكثر من الذين يملكون هاتفا أو مرحاضا يشطف بالماء أو كمبيوتر)، فقد نحصل فعلا على ٩٩ في المائة من السكان متصلين بشبكة الإنترنت في أوائل القرن الحادي والعشرين. وتزداد المعلومات المخزنة على الإنترنت بمعدل سريع جدا، ففي عام ١٩٩٦ كان يمكن للمرء أن يصل إلى ٧٠ مليون صفحة على الإنترنت. ومن المعتقد أنه بحلول عام ٢٠٢٠ ستتصل الإنترنت بكامل الخبرة البشرية لهذا الكوكب، وهي المعرفة والحكمة اللتان تراكمتا على مدى ٥ آلاف عام من التاريخ المدوّن.

الأهمية التاريخية للإنترنت

يرى أصحاب الرؤى أن الإنترنت هي مجرد بداية، فهي بمنزلة طريق ترابي يمهد لطريق المعلومات السريع في القرن الحادي والعشرين. إن «الاختناقات الناجمة عن الرسوم» الموجودة على الإنترنت، والتي تسبب

تأخيرات عدة ومزعجة ستزال تدريجيا. (في عام ١٩٩٦ على سبيل المثال، شُلت محطة التحويل في سان خوسيه تقريبا، عندما وصل تدفق الإنترنت إلى ٩٥ ميجابايت ـ ثانية، وهو تدفق قريب من قدرة النظام البالغة حوالى ١٠٠ ميجابايت ـ ثانية).

ويعتقد نائب الرئيس الأمريكي آل جور أن الشبكة الوطنية للتعليم والبحث العلمي (نيرن) ستحل محل الإنترنت وستكون أسرع منها بمائة مرة. وقد تُكلف هذه الشبكة الميزانية الفيدرالية ٣٥٠ بليون دولار خلال خمسة أعوام. ومن نواح عدة يمكن مقارنة تأثير الإنترنت بأحرف طباعة جوتنبرج المتحركة عام ١٤٥٠، عندما أمكن إيصال أعداد كبيرة من الكتب للجمهور الواسع في أوروبا. (كان لدى الصين وكوريا نسخة من النموذج المتحرك مسبقا). وقبل جوتنبرج لم يكن هناك سوى ٣٠ ألف كتاب في أوروبا. لقد كان التعلم والكتب ترفا، (أداة) لنخبة مثقفة حرصت على احتكار هذا الكنز الثمين. وبحلول عام ١٥٠٠ فاضت أوروبا بأكثر من ٩ ملايين كتاب، مما حفز عملية التفاعل الفكري التي مهدت الطريق لعصر النهضة.

ولكن المقللين من شأن الإنترنت يدّعون أنها مجرد موضة عابرة، ستختفي ببطء عندما يتعب الناس من إثارتهم وإغراقهم حتى أنوفهم في كومة من المهملات السبرانية. ويذكروننا بمصير الهاتف المرئي، الذي كان الحدث البارز في معرض نيويورك الدولي عام ١٩٦٤. لقد أخبر ملايين الزوار أن التليفون العادي سينحدر بسرعة إلى المتاحف القديمة، عندما يسرع الناس لشراء الهاتف المرئي لمنازلهم. ولقد أنفقت شركة AT &T مبلغا مذهلا يقدر بـ ٥٠٠ مليون دولار في الستينيات لإتقان هذا الجهاز. ومع ذلك فقد باعت منه بضع مئات فقط (بمبلغ مليون دولار لكل هاتف). لقد كانت تلك التجربة أحد الأخطاء الفادحة في الاتصالات عبر كل العصور.

لماذا فشل الهاتف المرئي؟ لقد كانت هناك مشاكل تكنولوجية (فخطوط الهاتف وأجهزة الكمبيوتر لم تكن قوية بما يكفي لحمل صور فيديو جيدة)، بل كانت هناك متاعب شخصية أيضا، فمعظم الناس يودون النظر إلى الشخص الذي يتحدثون معه، لكنهم لا يريدون أن ينظر إليهم. وقد قال أحد الساخرين: «هل تود حقا أن تمشط شعرك في كل مرة تستعمل فيها

الهاتف؟». وفي النهاية تذكرنا هذه القصة بأن المستهلك هو الحكم النهائي على التكنولوجيا الراقية.

وربما كان خبير الكمبيوتر كليفور ستول أكثر منتقدي الإنترنت ثباتا، وهو مؤلف البيان المضاد «زيت ثعبان السيليكون». لقد سخر ستول من الادعاء بأن الإنترنت ستبتلع يوما ما كل أشكال التواصل البشري، ويقول «إن أوجها قليلة من الحياة اليومية تتطلب استخدام الكمبيوتر، والشبكات الرقمية والاتصال الضخم، فهي غير ذات قيمة بالنسبة إلى الطبخ أو قيادة السيارة والزيارة والتفاوض والأكل والتمشي والرقص والتحدث والنميمة». فلا تحتاج إلى لوحة مفاتيح كمبيوتر لتخبز رغيفا أو تلعب كرة قدم باللمس أو ترقّع لحافا أو تبني حائطا أو تلقي قصيدة أو تؤدي صلاة.

ويستشهد ستول بمنتجات أخرى أصبحت «موضة» ثم أخفقت بعد ذلك مثل جهاز اللاسلكي الشخصي، الذي ازدادت شعبيته في السبعينيات حتى وصل إلى القمة بحوالى ٢٥ مليون مستخدم، ولكن طرافته اهترأت بحلول عام ١٩٨٠ وانهار سوقه، ولكن يوجد فارق هنا، فهذه الأجهزة لم تستهو سوى الناس الذين يقودون سياراتهم على طريق معين، محاولين تجنب دوريات المرور. لقد كان مداها (عدة أميال)، وجمهورها محدود بعدد قليل من الناس على الطريق السريع أمامك أو (وراءك)، وبالتالي لم تصل أبدا إلى الكتلة الحرجة، أو لم تحقق أبدا قانون الفوائد المتزايدة (الذي يقول إنه بعد مستوى معين فإنه كلما كثر الناس الذين يستخدمون تكنولوجيا معينة، كثر أيضا الناس الذين يودون استخدام هذه التكنولوجيا خالقين بذلك كتلة حرجة). وبالنسبة للإنترنت فإن مجالها هو الكوكب نفسه، ومادتها هي مجموع المعرفة الإنسانية بالكامل. وجمهورها هو أي شخص لديه كمبيوتر ومودم، وهو جمهور سيبلغ عدده مئات الملايين، أو حتى البلايين قبل زمن طويل. وعندما تصبح أجهزة الكمبيوتر غير مرئية، سنتمكن من خبز الخبز والتجول مشيا على الأقدام وقيادة السيارات، بينما نتحدث مع المرآة السحرية.

حتى ٢٠٢٠: كيف ستشكل الإنترنت حياتنا؟

لاري تيسلر أحد كبار العلماء في شركة آبل للكمبيوتر وعضو فريق زيروكس الأصلي، الذي وضع نظام ALTO وهو النظام الذي يرتكز في

الأوامر على الصور والأيقونات، وهو النظام الذي تطور في النهاية ليصبح الماكنتوش والنوافذ، وهو أحد المستكشفين الرواد أصحاب الرؤى، وقد ترك مركز أبحاث زيروكس، ويعكف الآن على التنبؤ بتأثير الإنترنت في حياتنا. وهو يوافق على العديد من الانتقادات التي وجهت إلى الإنترنت. نعم هناك الكثير جدا من الكلام الفارغ على الإنترنت، وهناك أيضا الكثير جدا من الدعاية المفرطة، ولكن الجيد يزيد على السيء بكثير. إن المختصر المفيد هو أن الإنترنت جاءت لتبقى، وبالطبع، فهو يوافق على أن النمو الهائل في الإنترنت سيتحول في النهاية إلى نمو ثابت وعادي كما يقترح كليفورد ستول، وستهدأ صرعة الإنترنت عندما يملّ الناس من استثارتهم، ولكنها ستصبح في ذلك الوقت جزءا لا يمكن الاستغناء عنه من الحضارة الحديثة، وضرورة للأعمال والتجارة والعلم والفنون والتسلية.

ويتحدث تيسلر باستفاضة حول الطرق العديدة التي ستغير فيها الإنترنت حياتنا وتغنيها نحو الأفضل: من قدرتنا على العمل في المنزل، إلى الجمع بين هواة من مناطق شتى في العالم، إلى التمتع بالتسوق في «السوق الإلكترونية»، والتي ستغير الطريقة التي نتسوق بها حاليا. وستتمكن وكالات السفر المتصلة مباشرة، أن تعرض خيارات كاملة لآلاف الرحلات على الإنترنت. وستزيد أعمال شركات بيع الأسهم على الخط المباشر، والتي تبلغ حصتها الآن ١ في المائة من الأسهم التي تباع وتشترى حاليا، وذلك لأنها ستكلف في حدود ١-١٠ من الأتعاب العادية، وستقدم تحليلا ماليا مباشرا وتعبيرا عن ذلك، حملت صحيفة وول ستريت عنوانا يقول«احذري يا شركة بيريل لينش». وسيكون بإمكان بائعي الكتب على الخط المباشر، أن يعرضوا ملايين العناوين أو ما يعادل عدة مكتبات. ويدعي (محسن معظمي) من شركة كيرت سالمون، وهي شركة استشارية للبيع بالمفرق أن حوالى ١٥ في المائة من تجارة البيع بالمفرق والبالغة ٤٠٠ بليون دولار، ستتم إلكترونيا بحلول عام ٢٠٠٠.

ويمكن رؤية مستقبل الصيرفة من أول بنك على الشبكة وهو بنفيل كينتاكي للضمان، الذي يقوم بإجراء «كل» عملياته على شبكة الإنترنت. وتقول صحيفة الوول ستريت «ببطء ولكن بثقة، تتحول التجارة الحقيقية إلى تجارة عبر شبكة الإنترنت»، وذلك لأن الإغراء قوي جدا، فليس هناك متجر يغلق

إطلاقا على الإنترنت. ولا يوجد مكان بعيد أو معزول عن بقية العالم، ولا يقلق التجار الذين يعلقون دعاية إلكترونية في الفضاء السبراني بشأن وجود أماكن تخزين، وبذلك يمكنهم تسويق بضائعهم إلى الزبائن المهتمين بجزء بسيط من الكلفة. كما أن حجم المتاجر على الخط المباشر، أكبر بكثير من أن تتسع له مبان من الطوب والأسمنت.

ويمكن للإنترنت أن تقدم للزبائن «منتوجات حسب الطلب»، فسوف نتمكن في المستقبل من انتقاء «الموضة» المحددة أو النموذج الذي نريده، ثم يرسل بعد ذلك عبر الإنترنت إلى المصنع الذي سيقوم بتصنيع المنتج حسب رغبة الزبون. وقد صممت شركة تكنولوجي كوزنج ماسحا بـ ٨,٥ مليون دولار، يمكنه أن يقدم صورة ثلاثية الأبعاد للجسم خلال ثانيتين، ويرتدي الزبون أولا طقما يلتصق بجسمه، ويستخدم الماسح ٦ أجهزة إسقاط و٦ كاميرات فيديو، لتصوير عدد من الخطوط الأفقية على طقم الجسم. ويحسب الكمبيوتر المقاييس الدقيقة للأبعاد الثلاثة لكل انحناء في جسمك. وعندما تختار نوع الملابس التي تريدها يرسل الكمبيوتر أبعادك إلى المصنع، الذي يرسل هذه المعلومات مباشرة إلى جهاز القص والتفصيل.

اختناقات على الإنترنت

إن مثل هذه الرؤية للإنترنت هي رؤية خلابة حقا، ولكنها مليئة أيضا بالثغرات والمشكلات والالتواءات، فمن أجل تحقيق الهدف عن طريق المعلوماتية السريع، يجب حل عدد من المشاكل. ويجب الوصول إلى عدد من الأهداف من الآن وحتى عام ٢٠٢٠:

- حل اختناقات النطاق الترددي.
- تصميم دوائر بينية أفضل.
- تصنيع عوامل ارتباط ومرشحات شخصية.

ويحدد رئيس مايكروسوفت بيل جيتس «اختناقات عرض النطاق الترددي» على أنها العقبة الأولى في طريق هذا الحلم، وعرض النطاق الترددي هو تقريبا كمية المعلومات أو (البيتات bits)، التي يمكن إرسالها

في الثانية. والمقياس الذهبي لعرض النطاق الترددي هو ٤ جيجا بايت، وهو يعادل كمية المعلومات الموجودة ضمن فيلم ڤيديوي بطول عادي. ويعتقد الكثيرون أن بث الأفلام حسب الطلب على الشبكة، سيكون هو المحرك للرواج في سوق الإنترنت، كما كانت الأفلام السينمائية المحرك لرواج الڤيديو، أو مثلما أدى ابتكار برامج تنسيق الحسابات إلى رواج استخدام الكمبيوتر الشخصي في الشركات. إن السؤال الذي تدور حوله التكهنات المحمولة في وول ستريت هو: ما الوسط الذي يمكنه إرسال ٤ جيجا بايت من المعلومات بشكل أفضل إلى المنازل الخاصة في أقصر وقت ممكن؟

إن جميع مستخدمي شبكة الإنترنت يشعرون بالضجر، وهم ينتظرون ظهور الصور على الشاشة. وحتى بوجود مودم سريع بـ ٢٨،٨ كيلو بت مثلا فإن ظهور صورة واحدة يستغرق من ١٥ ـ ٣٠ ثانية (يمكن اختصار الزمن إلى ثانية أو ما يقرب من ذلك بوجود وصلة ISDN وبمعدل نقل حتى ١٤٤ كيلو بود). ولرؤية أفلام ڤيديو كاملة الملامح على الشاشة، يجب عرض حوالى ٣٠ صورة بكل ثانية تقريبا، وهذا أسرع من أسرع مودم حالي بعدة مرات. والأكثر من ذلك أن الإشارة المماثلة التي هي صلة وصل الشبكة الحالية تمر عبر خطوط الهاتف بمعدل ٦٤ ألف بيت/ ثانية. وبهذه السرعة البطيئة نحتاج إلى أكثر من ١٠٠ ساعة لنقل فيلم مثل (صمت الحملان). ولهذا السبب، ساد الاعتقاد في وقت ما أنه من غير الممكن نقل أفلام الڤيديو عبر الأسلاك النحاسية لشركات الهاتف. ومع ذلك إذا حولت إشارة الڤيديو إلى إشارة رقمية، فمن الممكن ضغطها بحيث يمكن نقلها عبر أسلاك نحاسية. ولكن الضغط يؤدي إلى خسارة جزء بسيط من المعلومات، ولو أنه يفيد أكثر في زيادة سرعة نقلها.

إن بعض البدائل المغرية لخطوط الهاتف، والتي تجرب اليوم، هي الأقمار الصناعية والكابل، ولكل منهما مزاياه ومساوئه. إن ميزة النقل عبر الفضاء الخارجي تتمثل في عدم إنفاق الشركات بلايين الدولارات لإنشاء ملايين الأميال من الأسلاك. أما سيئاته فهي أن على المرء أن يطلق مئات أقمار الاتصالات لتغطية كل أنحاء الأرض في أي وقت. وبالمثل فإن الكابلات المحورية ملائمة، لأنها تنقل حاليا أفلام التلفزيون والڤيديو إلى المنازل في

كل أرجاء البلد بسرعة عالية. وقد بدأت شركات الكابل بتقديم اتصال سريع للإنترنت مع خدماتها العادية، ولكن توجد للكابل بعض المشكلات أيضا. فأسلاك الكابلات - على سبيل المثال - تحتاج إلى «أجهزة تقوية» مكلفة لتكبير الإشارة، لتصل واضحة عبر المسافات الطويلة. وإذا كان الطريق غير المعبَّد للإنترنت مصنوعا من أسلاك نحاسية، فإن طريق المعلوماتية السريع والمعبد، ربما سيصنع من الألياف البصرية الليزرية، فالليزر جهاز كميّ تماما، وهو آلة تصنع حزمة من ضوء متسق (أشعة ضوئية تهتز بتزامن تام مع بعضها). ولقد صُنع هذا الشكل الجديد من الضوء غير الموجود بشكل طبيعي في الكون عن طريق السيطرة على الإلكترونات، بحيث تقفز قفزات كمية بين المدارات داخل الذرة.

إن الأشعة الضوئية التي تنتقل عبر ألياف زجاجية رقيقة وشفافة، تحصر في الداخل حتى ولو كانت الألياف ملفوفة في دوائر، وببساطة فإن الأشعة ترتد عن الجدران الداخلية للألياف في ظاهرة يطلق عليها اسم (الانعكاس الداخلي التام). (وهذا هو التأثير ذاته المستخدم في صنع العروض الضوئية الرائعة للنوافير المائية في إيطاليا وأمكنة أخرى. فإذا ما وضعت مصابيح قوية في قاعدة النافورة، فإن تيارات الماء تلتقط الضوء المنطلق نحو الأعلى، معطية الوهم بأن الماء يلتهب).

وسيصبح الليزر الوسط الرئيسي للإنترنت، لأنه يستطيع نقل معلومات أكثر بـ ١٠ إلى ١٠٠ مرة من الأسلاك النحاسية. إن تردد ضوء الليزر الأحمر العادي من مصدر غاز هيليوم - نيون مثلا هو في حدود ١٠٠ تريليون دورة - ثانية، وكلما زادت سرعة الاهتزاز أمكن حزم كمية أكبر من المعلومات في هذه الإشارة.

وفضلا عن ذلك فإن هناك فارقا حاسما من ناحية اختناقات السير بين الطرق السريعة العادية والإنترنت، فكلما بنيت طرق سريعة أكثر شغلت أمكنة أكبر، حتى ينتهي الأمر إلى الاختناق، والتهام الأراضي التي لا تقدر بثمن. وقد يتسبب هذا في إحداث ردة فعل ضد تشييد الطرق السريعة. أما الإنترنت فهي كما يشير إلى ذلك تيسلر (بلا حدود)، فبإمكانك دوما وضع ألياف بصرية أكثر وزيادة سرعة المفاتيح، وعرض الموجة بواسطة أنواع جديدة من الليزرات. وليس هناك حدود أيضا لأنواع المعلومات، التي يمكن نقلها عبر

الإنترنت. وفي الواقع يبدو أن الحدود الفيزيائية الوحيدة على نمو الألياف الضوئية، هي الاختناقات التي قد توجد على الطرف الآخر، أي المفاتيح والكابلات على الطرف المستقبل.

لقد صنعت الآن كابلات ليفية يمكنها نقل كمية هائلة من المعلومات، تقدر بـ ١٠٠ مليون بت في الثانية، وهي تكافئ إرسال الموسوعة البريطانية عبر ليف زجاجي خلال أجزاء من الثانية. ويبدو أن هذا هو الحد الأقصى الذي يمكن الحصول عليه بالتكنولوجيا الحالية، ولكنه أكثر من كافٍ لمعالجة الحجم المتزايد بشدة من السير على الإنترنت. إن هذه السرعة عالية جدا حقا، بحيث إن المفاتيح الإلكترونية القياسية بطيئة جدا في التعامل مع هذا التدفق للمعلومات. وفي النهاية يجب تصنيع المفاتيح والعناصر من الليزر والأجهزة البصرية الأخري أيضا.

ومنذ فترة تستبدل ألياف زجاجية مرنة - في رقة رمش العين - يمكنها أن تحمل ملايين الرسائل بآلاف الأميال من الأسلاك النحاسية. وتنمو صناعة كابلات الألياف البصرية التي تقدر بـ ٦ بلايين دولار بمعدل مذهل يبلغ ٢٠ في المائة في العام. وقد يتضاعف تركيب الألياف البصرية سنويا منذ عام ١٩٩٣ إلى حوالى ١٦,٢٥ مليون ميل في عام ١٩٩٦ وحده. وعلى نقيض المعالج الدقيق الذي قد يبدأ بالاختفاء في حدود عام ٢٠٢٠، يبدو أن طاقة الليزر بلا حدود، ولن يحد من قدراتها سوى ضعف التجهيزات التكنولوجية عند طرفي هذه الكابلات البصرية.

وتتمثل المشكلة الثانية التي يواجهها الكوكب الذكي في اختناقات الأنظمة البينية، أي الشاشات والمدخلات الصوتية. ومن أجل الحصول على مرآة سحرية حقيقية على المرء أن يمتلك تلفزيونا رقميا - شاشات حائطية بوضوح دقيق جدا - وسيطا ذكيا وراء الشاشة، قادرا على فهم اللغة الإنجليزية وعلى فهم الموقف.

اندماج التلفزيون مع الإنترنت

لقد كان الصدام الداخلي العنيف المستمر بين صناعة الكمبيوتر وصناعة التلفزيون، حول من سيسيطر على مستقبل الوسائط الالكترونية،

أحد الاختناقات الرئيسية أمام الإنترنت. وبما أن ٩٩ في المائة من المنازل الأمريكية تمتلك جهازا تلفزيونيا أو أكثر، فإن العديدين يشعرون أن الاتجاه التجاري للإنترنت يقع في النهاية باتجاه الاندماج مع التلفزيون. وبعد عقد من التخاصم تم التوصل إلى اتفاقية في أواخر عام ١٩٩٦ ستحدد مسار الاتصالات الإلكترونية حتى أوائل القرن الحادي والعشرين. ولقد وصفت هذه الاتفاقية مسبقا بأنها أهم اتفاقية تمت في العقود القليلة الماضية. ويصف جاري شابيرو رئيس رابطة مصنعي إلكترونيات المستهلك النتائج المتوقعة لهذه الاتفاقية على النحو التالي: «يميل بعض الناس إلى تشبيه هذا الانتقال بالانتقال من التلفزيون الأبيض والأسود إلى الملون. ولكنني أعتقد أنه أكثر عمقا إذ إنه يشبه الإنتقال من الراديو إلى التلفزيون». ولقد اتفقت لجنة الاتصالات الفيدرالية مع عمالقة صناعة التلفزيون والكمبيوتر أخيرا على تبني النظام الرقمي كطريقة إرسال قياسية مما يشجع على الاندماج بين التلفزيون والكمبيوتر، ويجعل التلفزيون جهازا متفاعلا مع الشبكة.

لقد كانت صور التلفزيون في الولايات المتحدة في السابق مبنية على أنبوب الأشعة المهبطية، التي تمسح ٥٢٥ خطا على الشاشة منتجة ٣٠ صورة في الثانية. وكانت الإشارة ترسل على شكل إشارة تماثلية، أي على شكل موجة مستمرة لايمكن تعديلها بسهولة (إن معظم الموجات التي نصادفها عادة في حياتنا اليومية مثل الصوت والضوء وموجات اللاسلكي والتلفزيون، هي إشارات تماثلية، وعندما تُكَبّر هذه الإشارات تتراكم السواكن فيها ويضيع بعض المعلومات، وهذا هو السبب في أن المخابرات الهاتفية بعيدة المدى، والتي يجب تكبيرها عدة مرات تبدو غير صافية). إن الاتفاق الجديد سيغير كل هذا فتلفزيون المستقبل سيمتلك ضعف قدرة الوضوح (١٠٨٠ خطا لكل شاشة يمكنها أن تنقل صورة فوتوغرافية من قياس ٣٥ مم بصورة واضحة) وسيكون رقميا. وبدلا من أن تكون مربعة فإن شاشة المستقبل ستشبه كثيرا الصورة العريضة الموجودة في صالة السينما.

(وكلمة السر هي «رقمي». فعندما ترسل إشارة ثنائية في حزم منفصلة من الآحاد والأصفار، يمكن التحكم في الإشارة بآلاف الطرق من أجل

تهذيبها وتعديلها. وتستطيع برامج تصحيح الخطأ أن تقدم نقلا خاليا من الخطأ تقريبا، وبالتالي تخفض من التشويه والتشويش الموجودين بشكل شائع على شاشات التليفزيون العادية. وستكون الإشارة دائما خالية من التداخل وكاملة الصورة مهما كان مصدرها. وستكون الإشارة القادمة من مناطق بعيدة في العالم واضحة تماما، كما لو أنها أتت من المنزل المجاور. ويمكن أيضا تطوير الإشارة وتكبيرها (كما يجري بالنسبة للصور الباهتة التي أرسلت من مختبرات ناسا البعيدة في الفضاء)، ويمكن أيضا تجزيء الإشارة بحيث يمكنها أن تحمل الإنترنت وسوق الأسهم، إضافة إلى الإشارة التلفزيونية).

ويتوقع طرح النماذج التجارية الأولى من أجهزة تجمع بين التلفزيون والكمبيوتر في الأسواق في أواخر عام ١٩٩٨. وقد توقعت هيئة الاتصالات الفيدرالية الأمريكية عام ١٩٩٧ بأن يُستغنى عن إشارات التلفزيون التماثلية تدريجيا في حدود عام ٢٠٠٦. وبالتالي قد لايملك المستهلكون في ذلك الوقت أي خيار: فعليهم إما أن يشتروا تلفزيونا رقميا وإما محوّلا. أما التلفزيون العادي ذو الصندوق الكبير الموجود حاليا، في معظم محلات بيع التلفزيون، فسيكون مآله المتاحف.

والأهم من ذلك أن أجهزة التلفزيون ستمتلك صندوقا في الأعلى، يصلها بشبكة الإنترنت، مما يجعل التلفزيون الرقمي متفاعلا بشكل كامل. فبدلا من الجلوس بشكل سلبي أمام شاشة التلفزيون، سيتمكن المشاهدون في المستقبل من التفاعل والتواصل مع الصور على شاشة التلفزيون.

وتسوّق ٦ شركات رئيسية، منذ فترة، أجهزة تلفزيونية مرتبطة مباشرة بالإنترنت. ويقدر ريك دو هورتي من مجموعة شركات أنفيشنيرج أن ثلث مساكن الولايات المتحدة الأمريكية، ستمتلك هذه الأجهزة في حدود عام ٢٠٠٢. وعندما يصبح الإرسال الرقمي ملزما قد تصبح الإنترنت مدمجة في أجهزة ٩٩٪ من سكان الولايات المتحدة. ولكن حتى التلفزيون العادي ذو الشاشة العريضة قد يتلاشى في حدود عام ٢٠١٠، عندما يتم إدخال جيل جديد من الشاشات الحائطية، التي يبلغ سمكها سمك الورق.

الشاشات الحائطية

وفي النهاية ـ كنتيجة أخرى لقانون مور ـ فإن شاشات الكمبيوتر والتلفزيون ستكون مسطحة جدا، بحيث تعلق على الحائط مثل أي صورة، أو قد تصبح صغيرة بما يكفي لتناسب وضعها في ساعة معصم اليد.

إن أنبوب الأشعة المهبطية CRT، الذي كان حصان العمل لشاشات التلفزيون منذ ابتكارها يحتل حاليا ثلثي سوق شاشات الكمبيوتر، وهو عبارة عن حجرة زجاجية كبيرة مفرغة من الهواء، حيث تطلق المدافع الإلكترونية عدة حزم شعاعية على سطح شاشة فوسفورية كبيرة، تتوهج عندما تصدمها الأشعة. وتستخدم أنابيب الأشعة المهبطية الملونة ثلاث حزم أو أشعة إلكترونية، واحدة لكل لون أساسي وهي الأحمر والأزرق والأخضر، والتي تصنع منها كل الألوان الأخرى. إن ميزة هذه الأنابيب هي أنها تعرض صورة مشرقة. لقد كانت المحاولات الأولى للشاشات المنبسطة صعبة القراءة، ومع ذلك فإن لها سلبيات عديدة، فلأن حزم الإلكترونات لا تتحرك إلا ضمن غرفة مخلاة من الهواء، فإنها تبقى ثقيلة وكبيرة دوما، مما يجعلها صعبة النقل.

وسيُستبدَل أنبوب الأشعة المهبطية (الكاثود) في النهاية، إما بواسطة العارضات البلورية السائلة LCD وإما بشاشات البلازما. وتحتوي الشاشة البلورية على كيمياويات بلورية سائلة خاصة تجري كسائل، ولكنها تحتوي على جزيئات مرتبة بنظام بلوري. وقد تعرف العلم على مثل هذه البلورات منذ حوالى قرن من الزمان. وفي الحقيقة فإنها شائعة جدا وتتجلى في كل شيء، من غشاء الخلية إلى رغوة الصابون. وتكون الشاشات البلورية السائلة شفافة عادة، ولكنها تصبح معتمة مباشرة بعد إرسال تيار كهربائي صغير خلالها. وبالتحكم في تدفق الكهرباء خلالها نستطيع جعل الأحرف تسطع أو تختفي من الشاشة.

وعلى الرغم من أن الشاشات البلورية السائلة رخيصة وتستهلك كمية قليلة من الطاقة، ويمكن جعلها رقيقة بسمك دفتر مذكرات فقد كان لها في الماضي عيب قاتل، ذلك أنها لاتولد ضوءا ذاتيا، ومن المتعذر قراءتها في ضوء معتم.

ولكن هذه المشكلة حلت بنوع آكثر تقدما، وهي شاشة المصفوفة النشطة القادرة على إنشاء صورة ساطعة لأن كل بيكسل في هذه الشاشة يتم التحكم فيه بواسطة ترانزستور دقيق مثبت فيه. لقد تطور تصغير الترانزستورات إلى درجة أن كل نقطة على شاشة الكمبيوتر تتسع لترانزستور واحد صغير مساوٍ لها في الحجم.

ستسيطر الشاشة ذات الشبكة الفعّالة المتوافرة تجاريا منذ فترة على السوق في الأعوام القادمة. وتُطور حاليا شاشات المصفوفة النشطة التي هي بحجم ٢٢ بوصة وهي أكبر من شاشة الكمبيوتر العادية، التي يبلغ حجمها ١٧ بوصة. وبسبب هبوط كلفة الترانزستورات والإنتاج الضخم، فإن كلفة العارضات ذات السطح المستوى تنخفض بسرعة الآن. ويتنبأ المهندسون في شركة ستانفورد ريسورمز في وادي السيليكون، أنها ستتجاوز مبيعات الشاشات العادية الكاثودية بحلول عام ٢٠٠٠. ويصرح خبير الكمبيوتر كاري لو «من الممكن التفكير لأول مرة بنهاية حقبة الشاشات، التي تعمل بأنابيب الأشعة المهبطية التي توضع على سطح المكتب». إن البديل المحتمل الثاني لهذه الشاشات في المستقبل هو شاشة البلازما، التي تستخدم آلاف الغرف الصغيرة جدا، وتحتوي على خليط مؤين من غاز النيون والزنون يضيء بألوان عدة وبدرجات متفاوتة من الشدة. ويمكن مقارنة شاشة البلازما بوضع آلاف من أضواء النيون الصغيرة، كل منها أصغر من رأس الدبوس فوق بعضها وذلك لتشكيل شاشة.

ما يميز هذه الشاشة أنه يمكن جعلها كبيرة جدا وبزاوية عريضة للرؤية. لقد صنّعت شاشات البلازما، التي يصل حجمها إلى ٤٢ بوصة منذ فترة. أما شاشات البلازما ذات العرض ٦٠ بوصة والملائمة كشاشات حائطية، فهي لا تزال في المرحلة الاختبارية. ومن مساوئها أنها تستهلك كمية كبيرة من الطاقة، وتبدو غائمة بعض الشيء. ويتوقع لسوق الشاشات البلورية وشاشات البلازما أن يرتفع إلى ١٩,٢٣ بليون دولار و ٥,١١ بليون دولار على التوالي في حدود عام ٢٠٠٢.

ويحلول عام ٢٠٢٠ توجد الشاشات منبسطة السطح بأشكال مختلفة، وسوف تصغّر لتعمل كشاشات لساعات اليد، ويمكن إضافتها لعدسات العين ولسلسة المفاتيح. وستصبح في النهاية رخيصة جدا بحيث تنتشر في كل

مكان: خلف مقاعد الطائرة وفي سجلات الصور وفي المصاعد وعلى دفاتر المذكرات ولوحات الإعلانات وجوانب الباصات والقطارات. وقد تصبح في يوم من الأيام شائعة ومتوافرة كالورق.

التعرف على الكلام

في القصص الخرافية لا يطبع الأشخاص معلومات على لوحة مفاتيح للمرآة السحرية، بل إنهم يتكلمون مباشرة معها. ولكن التعرف على الكلام اليوم، هو أحد الاختناقات في عملية نقل البيانات عبر طريق المعلوماتية السريع. ولقد حصل تطور ملحوظ في تصميم أجهزة كمبيوتر، يمكنها أن تتلقى الإملاء. والمشكلة هي أن هذه الآلات يمكنها التعرف على حديث الإنسان، ولكنها لا تستطيع فهم ما تسمعه.

ومن حيث المبدأ، يفترض أن يكون من السهل التعرف على الحديث. ففي الحديث العادي ربما لا نستخدم أكثر من ٢٠٠٠ كلمة. ويتوقع من شخص متعلم أن يعرف بشكل معقول من ١٠ آلاف إلى ٢٠ ألف كلمة، ومن الممكن تخزين قاموس بهذا الحجم بسهولة في الكمبيوتر، ويمكن تفكيك الكلمات بدورها إلى وحدات صوتية مختلفة صُنِّفت من قبل علماء اللغة منذ فترة طويلة.

ويمكن للكمبيوتر أن يميز الوحدات الصوتية (الفونيمات) بتقسيمها إلى مقدارين: طبقة الصوت وشدته، وبقياس هذين المقدارين، يمكن للكمبيوتر أن يحصل على «طبعة صوتية» مرئية لكل وحدة صوتية مؤلفة من سلسلة من الخطوط الرأسية المتعرجة. (على سبيل المثال، كلما كبرت التعرجات زادت شدة الصوت، وكلما زادت سرعة التعرجات ارتفعت طبقته). ويمكنك أن تشاهد نماذج إيضاحية لذلك في معظم متاحف العلوم، حيث تتحدث في ميكروفون، وترى نماذج صوتك معروضة على شكل موجات تهتز على شاشة.

وفي الوقت الحالي هناك في الأسواق برامج تتعرف على الصوت، يمكنها أن تكتب ما يملى عليها بدقة ٩٥ في المائة. وتستطيع آلة نموذجية للتعرف على الصوت تمييز ٤٠ ألف كلمة يتكلمها شخص لم يسمعه

الكمبيوتر من قبل، ولكن البرامج لا تزال غير كاملة، فعلى المرء أن يتكلم بفاصل قصير بين كلمة وأخرى، من أجل أن يميز الكمبيوتر الكلمات المختلفة. ولكن العديدين يتوقعون أن تحل هذه المشاكل في حدود عام ٢٠٠٥، فهي مجرد مشاكل فنية ولا تتطلب التغلب على عقبات علمية جديدة، إنها لا تحتاج إلا إلى قدرة حاسوبية أكبر، والأصعب من ذلك هو تصميم آلات لا تستطيع سماع الأصوات البشرية فقط، بل يمكنها أيضا أن تفهم ما يقال. فأجهزة الكمبيوتر يمكنها أن تقرأ وأن تسمع ولكنها لا تفهم. ويشمل الحصول على مرآة سحرية فعلية إتقان الذكاء الصناعي، وهو أصعب مشكلة في تكنولوجيا الكمبيوتر. وفي النهاية فهي مشكلة تصب في صميم السؤال القديم: ما الذي يجعلنا بشرا؟

وتتمثل الخطوة الصغيرة الأولى في تطوير «وسطاء أذكياء»، وهي برامج يمكنها اتخاذ قرارات أولية والعمل كمرشحات، ومع ذلك يجب انتظار الحل الفعلي لهذه المشكلة حتى الطور الرابع من الحوسبة، والذي من المحتمل أن يتم من ٢٠٢٠ حتى ٢٠٥٠، عندما يتوقع العلماء أن يحل الذكاء الاصطناعي الحقيقي محل العناصر الذكية.

من الوقت الحاضر حتى ٢٠٢٠: الوسطاء الأذكياء

يُفترض في العنصر الذكي أن يكون قادرا على العمل كمرشّح لمصلحة المستخدم على الإنترنت، بحيث يميز بين المادة المفيدة والهراء. وكما يعلم أي شخص تجول خلال الإنترنت، فإن غالبية المعلومات هي مجرد هراء وثرثرة تتضمن كل شيء من: صور زواج لشخص منذ ٥ سنوات إلى هذيان مدعي النبوة. وعلى الوسطاء الأذكياء أن يقوموا بعمليات تقييم معقدة حول ما يريده المستخدم.

إن أحد الأشخاص الذين يعملون بجد لتحقيق هذه الرؤية في المستقبل، هي باتي مايز من مختبر الوسائط في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وهي إحدى الرائدات في مجال الوسطاء الأذكياء، والوسيط الذكي عبارة عن برنامج حاسوبي يدمج جوانب من: السكرتيرة والمخطط الشخصي وحتى الصديق. بدأت مايز ـ بعد حصولها على شهادة الدكتوراه في

المعلوماتية - العمل في حقل الذكاء الاصطناعي مع رودني بروكس من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وساعدته في بناء كوج Cog، وهو إنسان آلي قادر على التعلم كالطفل. ولكنها أصبحت مثل لاري تسلر - الذي سبقها - خائبة الأمل تدريجيا بالذكاء الاصطناعي «إنني غير مقتنعة بأنه إذا كان باستطاعتي أن أبني إنسانا آليا بذكاء طفل من عامين، فإنه سيخبرنا شيئا كثيرا حول البالغين». وتستنتج «من الأسهل أن تبني بكل بساطة طفلا في الثانية من عمره بالطريقة البيولوجية». وعندما أصبحت حاملا دخلت في رهان مع بروكس حول من سيحصل أولا على ذكاء طفل في الثانية من عمره: هل هو «كوج» الإنسان الآلي الذي صنعه روبرت بروكس أم طفلها؟ (وقد ربحت الرهان).

لقد قررت أنه إذا لم نستطع تحقيق الذكاء الاصطناعي في هذه المرحلة، فلماذا لا نحاول على الأقل أن نطور ذكاءنا نحن بكتابة برامج لوسطاء أذكياء، يمكنهم إنجاز أعمال هائلة من: جمع المعلومات إلى اتخاذ القرارات؟ ويمكن لمثل هذا الوسيط على أدنى مستوى أن يمر خلال البريد الإلكتروني، وأن يضع أولويات للرسائل، وأن يرمي بريدا إلكترونيا غير ضروري في سلة المهملات أو يقوم بترتيبه. أما على مستوى أعلى، فيمكنه أن يضع جدول مواعيد شخصية، وأن يحول المكالمات المهمة من خلال إعلام المرء بالمواعيد الجديدة وإيقاف الطلبات المزعجة. كما يمكنه في حالات الطوارئ أن يتصل بمستخدم في أي مكان يمكن أن يكون فيه. وسيعمل وسطاء المستقبل كمرشحات، تنقذنا من الغرق في بحر من الأشياء التافهة وغير الضرورية، الموجودة في الإنترنت، وتمكننا من البحث فيها عن أشياء قد نحتاج إليها. وقد طورت مايز وزملاؤها وسيطا ذكيا يمكنه البحث في قواعد البيانات العلمية المختلفة. واسترجاع مقالات معينة قد تكون ذات فائدة للعلماء. ويمكن للوسطاء الأكثر نجاحا أن تجتمع أو «تتزاوج» وتمرر «معلوماتها الجينية» (أي ماتحبه وما لاتحبه) إلى الجيل التالي من الوسطاء. وبهذه الطريقة يمكن لكل جيل من الوسطاء الجدد أن يصبح أكثر «تلاؤما» مع رغبات المبرمج. وتقول «بحسب رؤيتي لنظام الوسيط الذكي النهائي، فإن كل أشكال «الحياة» هذه تتطور ذاتيا، وتتخصص فيما أنت مهتم به». وتضيف قائلة «وهذا يعني أن كل جيل قادم من الوسطاء سيتلاءم مع مصالح مالكه بشكل أفضل».

وستكون لهؤلاء الوسطاء قيمة ثمينة للناس، الذين يريدون دوما أخبارا جديدة، عن الأحداث الرياضية وفقرات الأخبار والهوايات أو القصص التي تهم الإنسان. وحتى أثناء نومنا، ستكون أجهزة الكمبيوتر قادرة على جمع المعلومات التي قد نحتاج إليها بصمت. وتتضمن الاستخدامات الأخرى للوسطاء الأذكياء العمل كوسطاء شخصيين أو وسطاء لأناس آخرين. ويمكن للعزاب أن يستخدموا هؤلاء الوسطاء، لخلق قاعدة بيانات تشمل الكون بكامله. كما يمكن لطالبي الوظائف أن يمسحوا العالم برمته لمعرفة الوظائف الشاغرة، ويمكن للشركات أن تتعرف على مواقع مستشارين، حتى في الاختصاصات الضيقة غير المعروفة. أما ممارسو الهوايات فيمكنهم الاتصال بأناس لهم هوايات مماثلة.

لقد شعرت مايز أن أكثر الوسطاء الأذكياء فاعلية سيكون عميلا «مشخّصا»، يحمل وجها شبيها بوجه البشر وله شخصية مميزة. وقد كتبت حتى الآن برامج لنماذج أولية من وسطاء أذكياء لها نوع من (الوجه السعيد)، وتمتلك مجموعة تتراوح من ١٠-٢٠ عاطفة مختلفة.

ولقد كتبت في ذلك «بدلا من التحكم بواسطة المشيرة ولوحة مفاتيح، سيتمكن الناس من التكلم إلى الوسطاء أو الإشارة إلى أشياء يريدون تنفيذها. واستجابة لذلك سيظهر الوسطاء ككيانات «حية» على الشاشة، ناقلين حالتهم الحالية وتصرفهم بتعابير وجه بشري أو باستخدام لغة الجسم، بدلا من نظام النوافذ ومعالج النصوص والأشكال «الصور والرسوم». ويعني هذا التكلم مباشرة مع وجه له ملامح بشرية، يمكنه أن يبتسم ويعبس ويقطب الجبين وحتى أن يلقي النكات.

من ٢٠٢٠ حتى ٢٠٥٠: أنظمة اللعب والخبرة

يتوقع العلماء أن يبدأ الذكاء الاصطناعي الحقيقي بالانتشار في شبكة الإنترنت بعد العام ٢٠٢٠. إن الخطوة التالية بعد الوسطاء الأذكياء، هي نوع من الذكاء الاصطناعي يدعى أسلوب اكتساب الخبرة بالمحاولة والخطأ heuristics، الذي يحاول أن يرمّز المنطق والذكاء بمجموعة من القواعد. ويمكننا هذا الأسلوب بصورته المثالية من التكلم مع طبيب أو محام أو فني

على الكمبيوتر، يمكنه أن يجيب عن أسئلة فنية مفصلة حول التشخيص والعلاج. إن أحد الفروع الأولى لاكتساب الخبرة بالمحاولة والخطأ، التي تجاوزت فعلا قدرات البشر، هي آلة لعب الشطرنج. وتبدع الآلات المبنية على فكرة المحاولة والخطأ في ألعاب الشطرنج، لأنها مؤسسة على قواعد بسيطة محددة بدقة. ويمكن تحليل ملايين الحركات في الشطرنج بسرعة الضوء، مما يجعل أكثر البرامج تقدما قادرا على التغلب على كل اللاعبين، ماعدا أعظم السادة الكبار في اللعبة.

وقد قبل بطل العالم في الشطرنج جاري كاسباروف العام ١٩٩٦ تحدي أحد أجهزة الكمبيوتر وبرنامج لشركة «آي. ب. م» يدعى برنامج لعب الشطرنج «ديب بلو». وقد تأثر كاسباروف حتى أعمق أعماقه بذلك. وباحتوائه على ٣٢ معالجا دقيقا استطاع «ديب بلو» أن يحلل ٢٠٠ مليون موقع خلال ثانية واحدة، لقد اعترف كاسباروف بقوله «أستطيع أن أحس وأستطيع أن أشم نوعا جديدا من الذكاء عبر الطاولة، لقد حصلت على لمحتي الأولى من الذكاء الاصطناعي، ففي الشوط الأول من لعبتي مع «ديب بلو» حرك بيد ما إلى الأمام وإلى مربع يمكن بسهولة التقاطه. لقد خطر لكاسباروف أنه يواجه، للمرة الأولى، آلة قادرة على التنبؤ بطرق جديدة، ويعترف قائلا «لقد دهشت جدا بهذه التضحية من الكمبيوتر بالبيدق».

وبالرغم من أن ديب بلو ربح الشوط الأول من المجموعة في اللعبة الأولى فإن كاسباروف وجد أخيرا كعب آخيل في البرنامج، وتغلب على الكمبيوتر ٤ إلى ٢ وربح ٤٠٠ ألف دولار كجائزة مقدمة من رابطة الآلات الحاسوبية. لقد عثر كاسباروف على نقطة ضعف الكمبيوتر، فآلات لعب الشطرنج تتبع إستراتيجية محددة. وإذا أجبر الكمبيوتر على الانحراف عن هذه الإستراتيجية، فإنه يصبح بلا حول ولاقوة ويفشل تماما، مثل سلحفاة تنقلب على ظهرها. وقال كاسباروف في ذلك «إذا لم تجد الآلة وسيلة للفوز مثل مهاجمة الملك أو تنفيذ أحدى أولوياتها المبرمجة الأخرى، فإن الكمبيوتر يسير على غير هدى ويقع في المشكلات. ولذا فعلى الرغم من اعتقادي بأنني رأيت بعض ملامح الذكاء فإنه كان ذكاء من نوع غريب وغير كفء أو مرن، مما جعلني أعتقد أنه لا يزال أمامي عدد من السنين». غير أن كاسباروف كان متفائلا جدا، فبعد عام واحد فقط تغلبت نسخة مطورة من برنامج «ديب بلو»

على كاسباروف مما أحدث صدمة في أرجاء العالم، وطرحت وسائل الإعلام هذا السؤال «هل باستطاعة الآلات أن تفكر الآن؟»

ولقد كان تصريح عالم الكمبيوتر في جامعة إنديانا دوجلاس هوفشتاتر، تعبيرا عما فكر فيه كثير من الناس عندما قال «يا إلهي لقد كنت أعتقد أن لعبة الشطرنج تحتاج إلى تفكير، ولكنني أدرك الآن أنها ليست كذلك. إن هذا لا يعني أن كاسباروف ليس مفكرا عميقا، ولكنه يعني أن بإمكانك تجاوز التفكير العميق، أثناء لعب الشطرنج تماما، كما أن بإمكانك أن تطيرمن دون أن تحرك جناحيك». إن التصريحات المبالغة في الصحف حول قدرة الآلات على التغلب على الإنسان في التفكير، هي تصاريح غير ناضجة إلى حد بعيد، فالآلات الحسابية اليدوية تحسب بسرعة أكبر بكثير من أي إنسان، ومع ذلك فإن التفكير في هذا لا يسبّب للناس أي انهيار عصبي أو عقد شخصية. وآلات لعب الشطرنج هي من وجهة نظر معينة آلات حاسبة ذات إمكانات كبيرة.

لكن أحد مجالات اكتساب الخبرة بالمحاولة والخطأ، التي يمكن أن يكون لها أعظم الأثر في الحياة اليومية هو مجال «الأنظمة الخبيرة». إذ إن هذه البرامج تحتوي على الخبرة التي تراكمت لدى خبراء بشريين، ويمكنها تحليل المشكلات مثل البشر تماما. ويُبنى هذا الفرع من الذكاء الاصطناعي على تسجيل كل الاقتراحات الممكنة من نوع «إذا... عندئذ»، أي إذا تعطل شيء ما، تفعل عندئذ كذا، وبما أن أجهزة الكمبيوتر ذات كفاءة في مجال التحليل السريع لمجموعة من القواعد المحددة بدقة ولمخرجاتها، فهناك ثروة يمكن الحصول عليها تجاريا من نظام للذكاء الاصطناعي، يتضمن مقدارا كبيرا من «القواعد المكتسبة بالخبرة». وعلى سبيل المثال، فعندما تكون مريضا يسألك الطبيب عددا من الأسئلة حول أعراض مرضك، ليخبرك بعدها بالمشكلة المحتملة. ويمكن لهذا النوع من الأسئلة «إذا... عندئذ» أن يطبق بسهولة على أجهزة الكمبيوتر، لأنها تستطيع أن تخزن آلاف القواعداللازمةلتشخيص المرض (إن «فويجر» الطبيب الخشن المجسم والمشخص في فيلم «رحلة إلى النجوم» ستار ترك، مؤسس على برنامج اكتساب الخبرة بالمحاولة والخطأ. وكذلك الحال أيضا بالنسبة لـ ٩ آلاف HAL القاتل في فيلم ٢٠٠١، حيث يرمز الحرف «H»

إلى اكتساب الخبرة بالمحاولة والخطأ ومثل هذه البرامج في الكمبيوتر لن تساعد على تخفيض تكلفة العلاج فقط، بل إنها ستكون في الواقع أكثر دقة من الطبيب البشري في معظم المشكلات البسيطة، لأن معلوماتها أكثر شمولا ويتم تحديثها أولا بأول. وفي عام ١٩٧٥ تفوق نظام خبير دعي بـ(ميسن) على قدرة الطبيب العادي في تشخيص أمراض التهاب السحايا لدى المرضى. ومادام البرنامج ضمن حدود معرّفة بدقة، فإنه يعمل بشكل جيد. (ومع ذلك فقد سخر خبير الكمبيوتر دوجلاس لينات من ذلك بقوله «اسأل أي برنامج طبي عن حالة سيارة صدئة، ومن الممكن أن يشخّص لك بكل سرور أنها مريضة بالحصبة»).

لقد اهتمت بعض الصناعات الثقيلة بأنظمة الخبرة، لأنه من الممكن استخدامها بدلا من المهندسين والفنيين والكيميائيين، من ذوي الخبرة عند تقاعدهم. وفي الثمانينيات كان لدى شركة جنرال إلكتريك مهندس واحد فقط يعرف كيف يصلح كل محركات القاطرات الكهربائية في الشركة، فلقد راكم هذا المهندس خلال عمره كمية ضخمة من المعرفة المفصلة حول الحالات الخاصة والشاذة لهذه القاطرات الضخمة، ولكنه مع ذلك كان يتقدم في السن، وكانت خبرته السرية ـ التي تعادل عشرات الملايين من الدولارات ـ ستضيع عندما يتقاعد، غير أن أجهزة الكمبيوتر ربما تمكنت حين نقلت خبرته إلى برنامج ذكاء اصطناعي دعي دلتا من تشخيص حوالي ٨٠٪ من الأعطال.

ومنذ عام ١٩٨٥ صرفت ١٥٠ شركة مبلغا هائلا قدره بليون دولار على الذكاء الاصطناعي، وبشكل رئيسي على الأنظمة الخبيرة. ولكن المشكلة في هذه الأنظمة هي أنها تفتقر إلى القدرة على التمييز أو الإدراك السليم. فمهما كان عدد القواعد التي تمتلكها فإنها تقوم بأخطاء فاضحة، لأنها تفتقر حتى إلى الحدس لدى طفل بأحوال العالم. ويمكن اختصار سبب انهيار أنظمة الخبرة في السوق التجارية بعبارة واحدة شائعة «من الأسهل أن تحاكي عالم جيولوجيا من أن تحاكي طفلا في الخامسة من عمره»، أي أن النظام الخبير يمكنه معالجة الحقائق اللازمة لعمل الجيولوجيا بشكل جيد، ولكنه لا يستطيع محاكاة الإدراك السليم والتمييز لطفل في الخامسة فقط من عمره.

القدرة على التمييز أو الإدراك السليم ليست شائعة على الدوام

إن المشكلة في أجهزة الكمبيوتر هي أنها في الوقت الحالي من دون ملحقاتها الغامضة والمدهشة، ليست أكثر من آلات جمع رائعة أو «حكماء بلهاء». وبينما يمكن تعديل آلات الجمع هذه لتصبح معالجة للنصوص فإنها في صميمها لا تزال آلات جمع. فهي تستطيع التعامل مع كميات هائلة من البيانات بسرعة أكثر بملايين المرات من سرعة الإنسان، إلا أنها لا تفهم ما تفعله، وليس لديها أي تفكير مستقل، ولا تستطيع برمجة نفسها أيضا.

إن إحدى المشاكل الرئيسية للفترة من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ هي بناء أنظمة ذكية تتمتع بالإدراك السليم أو القدرة على التمييز. مثل هذا الإدراك موجود في أدمغتنا على مستوى اللاوعي، مثل جبل جليد مختفٍ تحت الأمواج إلى حد أننا لا نجشم أنفسنا عناء التفكير في كيفية استخدامه في حياتنا اليومية. ولا يحتل تفكيرنا الواعي إلا جزءا صغيرا من مجمل تفكيرنا. فمعظم تفكيرنا إنما هو في الواقع تفكير لاواعٍ، بما في ذلك تلك القدرة على التمييز.

ومن مفارقات القدر أن أدمغتنا لم تتطور فيها الدوائر العصبية البسيطة جدا اللازمة لإجراء الحساب، فالقدرة على ضرب أعداد مؤلفة من خمسة أرقام، والذي يمكن لآلة حاسبة يدوية أن تقوم به من دون جهد، لم تكن مفيدة في الإفلات من نمر جائع حاد الأسنان منذ مئات الآلاف من السنين. ومن العجيب أن الحساب لايتطلب إلا قليلا من الدوائر العصبية، إلا أن عدم الحاجة إليه أثناء تطورنا لم يدفع إلى تطويرها لدينا أبدا. لقد تطورت أدمغتنا بدلا من ذلك إلى جهاز عقلي راقٍ يمكننا من التمييز والإدراك السليم دون التفكير به، مما مكننا من البقاء على قيد الحياة وسط عالم معادٍ.

أما أنظمة الكمبيوتر فهي على النقيض من ذلك تماماً، إنها أنظمة مدهشة في المنطق الرياضي المجرد، ولكنها عموما لا تفهم أبسط المبادئ في الفيزياء أوالبيولوجية، ولديها مشكلة مثلا في حل المسألة التالية:

سوزان وجين توأمان. إذا كانت سوزان الآن في العشرين من عمرها، فكم عمر جين؟

إن مفهوم «الزمن» (وهو أن كل الأشياء تشيخ بالمعدل ذاته وأن الابن أصغر سنا من أبيه... إلخ) يفهمه الأطفال بسهولة، الكمبيوتر لا يفهمه، فهذا قانون فيزيائي وليس منطقا رياضيا، ولا بد من تعريف الكمبيوتر أن الزمن يتقدم على نسق واحد.

وتواجه أجهزة الكمبيوتر مشكلة في إدراك الحقائق البيولوجية «الواضحة» المتعلقة بالأشياء الحية. وعلى سبيل المثال فإن أجهزة الكمبيوتر ترتكب الخطأ التالي:

الإنسان: كل البط يمكنه الطيران، تشارلي بطة.

الإنسان الآلي: لذا فإن باستطاعة تشارلي أن يطير.

الإنسان: ولكن تشارلي ميت.

الإنسان الآلي: آه! تشارلي ميت ويمكنه أيضا أن يطير.

إذ يجب إخبار الكمبيوتر أنه عندما يموت شيء فليس بمقدوره التحرك، فهذا الأمر لا يبدو واضحا من قواعد المنطق. إن المشكلة هي أن أجهزة الكمبيوتر منطقية رياضيا، ولكن القدرة على التمييز غير ذلك، فقوانين الفيزياء والبيولوجية في الطبيعة ليست كامنة بالضرورة في قوانين المنطق.

موسوعة الإدراك السليم

لقد خصص دوجلاس لينات حياته بالكامل لكشف أسرار الإدراك السليم، أو القدرة على التمييز لدى الإنسان.

وهو يشعر بأن المشكلة هي أن باحثي الذكاء الاصطناعي لم يلموا إلا بأطراف المشكلة الحقيقية، ويقول بأن المطلوب ليس أقل من (مشروع ذكاء اصطناعي مشابه لمشروع مانهاتن)، أي القيام بهجوم مباشر وشامل على موضوع الإدراك السليم. ويتمثل هذا التحدي في إنشاء موسوعة كاملة للقدرة على التمييز، أي مجموعة كاملة تقريبا من قواعد الإدراك السليم والتمييز للموقف الطبيعي، وبعبارات أخرى فإنه يدافع عن إنشاء قوة هجومية كبيرة بدلا من الاكتفاء بتحليل أجزاء متقطعة من المنطق.

ومنذ بداية العام ١٩٨٤ بدأ لينات بإنشاء سيك «Cyc» (وهو مختصر لكلمة موسوعة). وهو مشروع بقيمة ٢٥ مليون دولار مُوِّل من قبل اتحاد عدة شركات

بمن فيهم زيروكس، ديجيتال، إيكويبمنت، كوداك وآبل. وبينما استطاعت البرامج السابقة أن تحقق بمشقة منطق الإدراك السليم، والتمييز لطفل في الثالثة من عمره، كان هدف سيك تحقيق معرفة بهذه الظاهرة لدى إنسان بالغ. ويدعي لينات أنه «لا أحد بعد العام ٢٠١٥ سيتصور شراء آلة من دون قدرة على التمييز والإدراك السليم، تماما كما أنه لا أحد يشتري اليوم كمبيوتر من دون برامج جداول البيانات أو برامج لمعالجة النصوص».

ويعتقد لينات أن الناس في المستقبل سيُدخلون برامج الإدراك السليم في أجهزة الكمبيوتر المملوكة لهم، مما يسمح لهم بإجراء محادثات ذكية مع هذه الأجهزة التي يمكنها أن تفسر أوامرهم وتنفذها. ويهدف لينات إلي تسجيل قائمة كاملة بقواعد الإدراك والتمييز. وتتضمن بعض القواعد «الواضحة»:

- لا شيء يمكنه أن يوجد في مكانين في الوقت ذاته.
- عندما يموت الناس فإنهم لا يولدون مرة أخرى.
- الموت أمر غير مستحب.
- الحيوانات لاتحب الألم.
- يتقدم الزمن بالمعدل ذاته بالنسبة لكل شخص.
- عندما تمطر السماء يتبلل الناس.
- الأشياء الحلوة ذات مذاق جيد.

ويمكن أن تستغرق كل عبارة «واضحة» من هذه العبارات من طاقمه عدة أسابيع أو أشهر لتفكيكها إلى عناصرها المنطقية. ولقد جمع بعد ١٠ أعوام من العمل ١٠ ملايين من هذه العبارات التي احتاجت إلى بليون بايت من المعلومات. ويأمل لينات أن يتمكن، في نهاية المطاف، من جمع رقم ضخم يقدر ب ١٠٠ مليون من هذه العبارات «الواضحة».

وفي أوقات عديدة ييأس لينات من جمع الشواذ في اللغة الإنجليزية، التي لا يمكن حلها إلا بخبرة الإنسان بالعالم الواقعي. خذ على سبيل المثال عبارة: (رأت ماري دراجة في نافذة عرض المتجر... وأرادت أن تشتريها).

يقول لينات: « كيف لنا أن نعرف أنها أرادت الدراجة وليس المتجر أو النافذة؟». إن الحل الحقيقي لهذه المشكلة البسيطة يتطلب من سيك أن يفهم المجموعة الكاملة لما يحبه البشر أو لما لا يحبونه. وقد تأكدت صعوبة المسألة حين استغرق الأمر من لينات ٣ أشهر لبرمجة سيك بحيث يفهم التالي:

«لقد مات نابليون في جزيزة سانت هيلين، وقد حزن ولنجتون لذلك». لقد كان فهم هاتين الجملتين البسيطتين ظاهريا أمرا معقدا، لأنه كان على سيك أن يفكك سلسلة من العبارات «الواضحة». فلقد كان على سيك أولا أن يكتشف أن نابليون إنسان وأن الإنسان لسوء الحظ معرض عادة للموت، وأن الموت أمر غير مرغوب ولاعودة منه، وأن الموت بدوره غالبا ما يثير المشاعر، وأن الحزن هو أحد هذه المشاعر.

لقد حصل لينات ومساعدوه على الأفكار من مصدر غير مألوف تماما: وهو قراءة الصحف الشعبية، التي تنشر الفضائح في الأسواق الكبيرة، ومن ثم التساؤل ما الذي يحتاج سيك إلى معرفته لفهم هذه الأشياء أو دحضها.

ويسأل لينات السؤال التالي: هل يمكن لسيك أن يتعرف على الأخطاء في الصحف الشعبية؟ (إذا نجح سيك في تمييز الأفكار الخاطئة في الصحف الشعبية للأسواق الكبيرة، فمن المحتمل أنه تجاوز قدرات التمييز والإدراك السليم والفطنة لدى عدد كبير من الأمريكيين!).

إن أحد أهداف لينات على المدى المتوسط هو أن يصل إلى نقطة « التعادل»، حيث يمكن للكمبيوتر أن يتعلم بشكل أسرع عن طريق «قراءة» مواد جديدة، بدلا من وجود جيش من المدربين الخصوصيين من حملة شهادة الدكتوراه. وكطائر صغير ينطلق في رحلته الأولى سيكون بإمكان سيك بعد ذلك أن يحلق بقدراته الذاتية. وعند تلك النقطة يمكنه، كأي طفل في العاشرة من عمره، أن يقرأ ويتعلم بنفسه ويتخلص من معلميه من البشر. ويلخص لينات فلسفته في هذه المقولة: «الذكاء مجرد ١٠ ملايين قاعدة». وهذا هو عكس التوجه المستخدم في الفيزياء، حيث يحاول الفيزيائيون اختزال كميات هائلة من المواد إلى أبسط العلاقات. وبحسب لينات، فإن هذه الحقيقة هي المشكلة في البحث العلمي في موضوع الذكاء الاصطناعي. ويعتقد لينات، شأنه في ذلك شأن مؤسس مشروع مانهاتن لدراسة الذكاء الاصطناعي مارفين منسكي، أن الباحثين في الذكاء الاصطناعي وقعوا ضحية « غيرتهم من الفيزياء»، فقد جعلهم تأثرهم بنجاح الفيزيائيين في تمثيل العالم الفيزيائي بعدد صغير من العلاقات، يظنون خطأ أن بإمكانهم أيضا اختزال الذكاء الاصطناعي إلي بضعة أسطر من المنطق.

ولكن الذكاء والقدرة على التمييز بالنسبة إلى لينات هما المجموع الكلي لملايين الأسطر من الرموز، التي لا يمكن اختزالها إلى بضعة أسطر من المنطق. وهذا هو السبب الذي يجعل لينات يحس بأهمية برنامج سيك.وإذا أمكن إدخال موسوعة سيك بنجاح ضمن نظام خبير بعد العام ٢٠٢٠، فمن الممكن أن يزودنا بأطباء ومهندسين وكيميائيين صناعيين ومحامين آليين.

ولايؤمن كل شخص من العاملين في مجال دراسة الذكاء الاصطناعي بعمل لينات، وعلى سبيل المثال تعتقد مايز أن على الوسيط الذكي حقا أن يتفاعل مع محيطه ويتعلم منه. أما راندال ديفيس وهو، باحث آخر في مجال الذكاء الاصطناعي، فيعطيه «فرصة ضئيلة» في النجاح، ولكنه يعترف بأن «سيك ليس سفينة صاروخية ستصل إلى القمر أم لا. إنه تجربة ضخمة في صميم الذكاء الاصطناعي المبني على الخبرة، وسينتج عنه شيء مهم». ويقول إننا ربما غالينا في نقد سيك. « ويذكّرنا بقوله» يمكننا النظر حولنا لنرى أن العالم مأهول بأنظمة نصف ذكية (أي نحن البشر)، ليس لديها إلا أدنى فكرة عن الزمان والمكان والعلّية... وما شابه)».

الحياة لأسبوع في العام ٢٠٢٠

كيف يمكن لهذه الثورات العلمية أن تؤثر في حياتنا؟ وبالرغم من أنني سأناقش الـ ١٠٠ عام القادمة وما بعدها في كتاب «رؤى» فإن بإمكان العلماء التخمين بدقة معقولة حول الحياة في عام ٢٠٢٠، لأن معظم النماذج الأولية للاختراعات والتكنولوجيات في القصة التالية موجودة حاليا في صورتها الأولية على المستوى المعملي. وبعيدا عن أن تكون هذه التكنولوجيات قصة من قصص الخيال العلمي، فإن العديد منها، والتي سأستعرضها، قد بدأ يثبت فاعليته. وكما قال بلول سافو من معهد المستقبل «إن المستقبل موجود في الحاضر. إنه فقط موزع فيه بطريقة غير متجانسة»

وفيما يلي سيناريو بعنوان «الحياة لأسبوع عام ٢٠٢٠» عن الشكل المحتمل للحياة في العام ٢٠٢٠. إذا كنت موظفا تتعامل مع آخر ماوصلت إليه التكنولوجيا.

٦,٣٠ قبل الظهر ١ يونيو ٢٠٢٠:

رنين خفيف يوقظك في الصباح، صورة لشاطئ البحر تتدلى بصمت على كامل الجدار تدب فيها الحياة فجأة، ويحل محلها وجه بشوش دافئ سميته

مولي تقول بمرح: «حان وقت الاستيقاظ». وأثناء سيرك إلى المطبخ تشعر الأدوات بحضورك، فيبدأ إبريق القهوة بالعمل، ويحمّص الفرن الخبز إلى الدرجة التي تريدها، وتملأ موسيقاك المفضلة أرجاء الغرفة. وتدب الحياة في البيت الذكي وعلى مائدة الطعام تجد نسخة من الصحيفة أعدتها مولي لك خصيصا عن طريق مسح المعلومات على شبكة الإنترنت. ولدى مغادرتك المطبخ تحصي الثلاجة محتوياتها لتعلن: «لايوجد لديك حليب، كما أن اللبن حامض». وتضيف مولي «ينقصنا كمبيوترات، اشترِ مجموعة أخرى منها من السوق عندما تذهب هناك».

لقد اشترى معظم أصدقائك برامج «الوسيط الذكي» من دون وجوه أو شخصيات، ويدعي البعض أنها تعرقل، العمل كما يفضل البعض الآخر عدم الكلام مع أدواتهم. ولكنك تفضل الأوامر الشفهية. وقبل أن تغادر المنزل تبلغ المكنسة الكهربائية أن تنظف السجادة. وتدب الحياة في المكنسة فجأة، وتبدأ عملها.

ولدى قيادتك لسيارتك الكهربائية في طريقك إلى العمل، تقوم مولي بالاتصال بقمر نظام تحديد الموقع العالمي GPS الذي يدور حول الأرض، وتبلغك بأن هناك تأخيرا كبيرا بسبب الأعمال الإنشائية على الطريق السريع رقم ١، وتقول «هناك طريق بديل » وتظهر أمامك خريطة على زجاج السيارة الأمامي توضح هذا الطريق.

وبينما تبدأ بالقيادة على الطريق السريع الذكي تتحول إشارات المرور كلها، وهي تحس بعدم وجود سيارات أخرى على الطريق إلى اشارات خضراء، وتمر مسرعا خلال بوابات رسوم الطرق التي تسجل رقم سيارتك، بمجساتها الليزرية وترسل الفاتورة إلكترونيا إلى حسابك. ويراقب رادار مولي بهدوء السيارات التي تحيط بك. وعندما يكتشف الكمبيوتر الخاص بها فجأة خطرا ما، فإنها تصيح «حاذر! هناك سيارة وراءك». وتنجو بصعوبة من الاصطدام بسيارة لم تكن في مجال رؤيتك. ومرة أخرى ربما تكون مولي قد أنقذت حياتك، (وتذكّر نفسك بأنه عليك في المرة القادمة أن تركب وسائل النقل العامة).

وفي مكتبك في شركة «كمبيوتر جينتك» وهي شركة عملاقة متخصصة في تسلسل الـ «د. ن. أ» تستعرض بريد الفيديو وبعض الفواتير، ثم تدخل

بطاقة محفظتك الذكية في الكمبيوتر الموجود على الجدار، ويقوم شعاع ليزري بالتأكد من قزحية عينك من أجل تحديد هويتك، ثم يجتمع معك حوالى الساعة العاشرة اثنان من موظفيك من خلال الشاشة الجدارية.

٤ بعد الظهر

تخبرك مولي أنه حان موعدك مع الطبيب. وبينما تقوم مولي بإجراء الاتصال، يظهر طبيبك الافتراضي على الشاشة الحائطية ليقول لك: «لقد اكتشفنا وجود مقادير صغيرة جدا لنوع معين من البروتين في بولك، وهناك مستعمرة سرطانية دقيقة تنمو في مصرانك الغليظ» وتسأله بقلق «أخطير هذا؟»

- «إنها ليست أكثر من بضع مئات من الخلايا المسرطنة، سوف نقوم بإبادتها ببضعة جزيئات ذكية»

- «من قبيل الفضول فقط، ماذا كان سيحدث لو لم يتم اختيار البروتين والجزيئات الذكية؟»

- « حسنا، بعد عشر سنوات كان سيتطور لديك ورم صغير، وعند تلك المرحلة ستكون هناك بضعة بلايين من الخلايا المسرطنة، التي تنمو في جسمك وستكون فرص بقائك على قيد الحياة بحدود ٥ في المائة».

ويقطب الطبيب الافتراضي جبينه ويقول «لقد استخدمنا أيضا آلة الرنين المغناطيسي MRI الجديدة لإلقاء نظرة خاطفة على عروقك. وبمعدل تراكم الترسبات الحالي فإن الكمبيوتر يقدر أن خطر تعرضك لنوبة قلبية سيزداد بمقدار ٨٠ في المائة، سأرسل لك بالفيديو برنامجا صارما من التمارين والاسترخاء والتأمل واليوجا. كما أن لدى مولي وظيفة أخرى وهي: أن تكون مدربك الشخصي.

المساء

وفي المساء تحضر حفلة كوكتيل للشركة، وبينما تتنقل بين الضيوف تمسح آلة التصوير الفيديوية المركبة في نظارتك الموجودين، وتطابق مولي الوجوه مع النماذج المخزنة في ذاكرتها، وتهمس مولي في أذنك لتخبرك بهوية كل شخص من خلال مرسل صغير خاص في نظارتك، ومع نهاية الحفلة تكون قد ثملت بعض الشيء، وتهمس مولي في أذنك «إذا شربت أكثر من ذلك فلن يسمح لك محلل الزفير في لوحة قيادة سيارتك أن تشغلها».

منتصف ليلة الأربعاء:

تقرر القيام ببعض التسوق في اللحظات الأخيرة، وتقول «مولي اعرضي السوق الافتراضي على الشاشة. أنا في حاجة إلى شراء كنزة (سويتر) جديد». وتومض شاشة الحائط بصورة مجمع البلدة التجاري، وتلوح بيديك فوق طاولة القهوة، حيث تتغير صور الفيديو كما لو أنك تمشي داخل المجمع، وتلتقط السويتر التي تريدها من الرفوف، إنك تحب تفصيلتها ولكن مقاسها غير صحيح. ولحسن الحظ فإن مولي تحتفظ بمقاساتك الدقيقة في الأبعاد الثلاثة، وتقول «مولي إنني أريد كنزة حمراء لازرقاء ولكن من دون هذه الحواشي. أرسلي الفاتورة وسدديها من بطاقة اعتمادي الذكية».

ثم تقرر أن تفتش عن بعض الشقق في المدينة وبعض المنازل على الشاطئ في أوروبا، وتظهر على شاشة الحائط صور لشقق ومنازل ساحلية في مستوى السعر الذي حددته، وتمر خلال هذه الصور باستخدام أصابعك.

ليلة الخميس

ليس لديك أي موعد لعطلة نهاية الأسبوع. وبلمحة خاطر تخبر مولي أن تستعرض أسماء كل العزاب المؤهلين في المنطقة، وأن تطابقهم بحسب هواياتك ورغباتك، وتظهر قائمة من الوجوه على الشاشة مع وصف مقتضب لكل منهم تحت كل صورة.

- «حسنا»، مولي بمن أتصل بحسب رأيك؟»

- «حسنا، أعتقد أن الرقمين ٣ و٥ يبدوان واعدين. إنهما يطابقان اهتماماتك بحدود ٨٥ في المائة». ثم تمسح مولي ملامح الوجه لكل شخص وتجري بعض الحسابات على مقاييس الوجه. «إضافة إلى ذلك أعتقد أن الرقمين ٣ و٦ جذابان. أليس كذلك؟ ولاتنس الرقم ١٠ إن لها أبوين جيدين». لقد اختارت مولي لك بحسب ملامح الوجه أكثر الناس في المجموعة تقشفا وأشدهم محافظة. ويبدو أن مولي تتصرف كما لو أنها كانت أمك!

ليلة السبت

وافقت إحدى الشخصيات اللاتي اخترتهن من القائمة أن تخرج معك، وتذهب معها إلى مطعم رومانسي. ولكن في اللحظة التي تود فيها الأكل تتفحص مولي وجبتك لتعرف محتواها الغذائي وتقول لك «هناك كمية كبيرة من الكوليسترول في هذا الطعام». وفجأة تتساءل إذا كان بإمكانك أن تسكت مولي؟

وبعد العشاء تقرران العودة إلى شقتك لمشاهدة فيلم قديم وتقول «مولي أريد أن أرى فيلم الدار البيضاء. ولكن أيمكنك هذه المرة أن تستبدلي وجه أنجريد برجمان وهمفري بوجارت بوجهينا؟». وتقوم مولي بتحميل الفيلم من الشبكة ثم تعيد برمجة كل الوجوه فيه، وفجأة تريان أنفسكما على الشاشة راجعين في الماضي نحو المغرب التي مزقتها الحرب. ولايمكنك أن تبتسم في نهاية الفيلم، وأنت ترى نفسك في المشهد الأخير مع حبيبتك في المطار، تحدقان في عيني بعضكما البعض.

خاتمة:

قد نتفاعل يوميا مع الأنظمة الخبيرة ومع برامج الإدراك السليم في الفترة من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ من خلال مرآتنا السحرية، مما يؤدي إلى إحداث ثورة في الطريقة التي تنظّم بها بعض المهن. وعلى الرغم من أن المعلومات والخدمات المتخصصة ستزود بالضرورة من قبل خبراء بشريين، فإن العديد من المسائل اليومية يمكن حلها بواسطة الأنظمة الخبيرة الذكية. وبالطبع تثير مثل هذه المساعدة الكمبيوترية عددا من الأسئلة: ماالذي يجعلنا بشرا؟ كيف نفكر؟ وسأتفحص في الفصلين القادمين محصلة الذكاء الاصطناعي وهي خلق عقل اصطناعي. وعلى نقيض ثورة الكم أو البيوكيميائية فإن دراسة وعي الإنسان لا تزال في المهد. ولم يولد بعد نيوتن الذكاء الاصطناعي أو أينشتينه. ومع ذلك فهناك ثورة تتم في هذا المجال تغير المفاهيم القديمة، وتثير مناقشات جديدة، حول ما معني أن نكون بشرا.



4 الآلات التي تفكر

خلق المستقبل

إن زيارة مختبر الذكاء الاصطناعي المشهور في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا هي زيارة حافلة بالأمور المدهشة والمفاجآت السارة. ويوجد هذا المختبر في الطابقين الثامن والتاسع من بناء حديث في ساحة التكنولوجيا، غير بعيد عن مركز أبنية المعهد، ويبدو شبيها جدا بمكتب في بناء عادي. ولكن ما إن يفتح المرء الباب حتى يرى منظرا غريبا: أغلى مصنع ألعاب في العالم، وهو علبة ألعاب ميكانيكية مفصلة لمهندسين لامعين مازالوا محتفظين بالكثير من سمات الطفولة والشباب. وبوجود فرق من الطلاب المجدين حديثي التخرج منكبين على طاولاتهم يجمعون بآلاتهم بكل حذر سيقانا وأذرعا وأجساما ورؤوسا متدلية، يبدو المكان شبيها جدا بنسخة عالية التكنولوجيا لورشة بابا نويل.

وخلال التجول يرى المرء في أرجاء المختبر عرضا لوحوش يمكنه أن يجعل

«في وقت ما من الثلاثين عاما القادمة، سوف ندرك دون ضجيج أننا لم نعد أذكى شيء على سطح الأرض».

جيمس ماكالير

عيني أي طفل تلمعان في شغف، فهناك ساحة معارك من الألعاب توجد فيها نماذج مصغرة تبدو حقيقية من الدبابات والديناصورات البلاستيكية الضخمة، وصندوق رملي ضخم من زجاج البلكسي مع نملة ميكانيكية بطول قدمين، وصرصور ميكانيكي بطول ١٠ بوصات. وعوضا عن أن تكون هذه الكائنات الميكانيكية ألعابا مستقبلية للأطفال تتدلى من شجرة عيد الميلاد، فإنها قد تتطور يوما ما إلى جيش من الآليات التي ستمشي على سطح المريخ، وتستكشف النظام الشمسي، ويمكنها حتى أن تدخل إلى بيوتنا.

وفي جميع أرجاء المختبر هناك جو مملوء بالمرح، إذ توجد أشعار وأقيسة منطقية تافهة تملأ الألواح السوداء. وهناك أيضا طريق قرميدي أصفر مطلي على الأرض، يقود إلى كمبيوتر يدعى أوز OZ(*). وفي إحدى زوايا «المختبر يجلس»، أودي وهو اختراع بطول قدمين على شكل كلب ميكانيكي، مزود بعينين على شكل آلات تصوير ڤيديوية، وبربطة عنق ذكية مشبها الكلب أودي في المسلسل الهزلي (جارفيلد). ويستجيب أودي للحركة كلما تحركت يد الشخص. وتتركز عيناه الڤيديويتان بدقة متتبعة كل انعطاف أو انحراف. وعلى نقيض الكلب الذي أخذ اسمه، فإن أودي ليس بطيء الحركة: فإذا ألقيت كتابا من دون سابق إنذار فإن عينيه الڤيديويتين تقتفيان أثره وهو يسقط إلى الأرض. وفي زاوية أخرى تقبع «وام»، WAM وهي ذراع ميكانيكية ضخمة موصولة بآلة تصوير ڤيديوية. فإذا ألقيت كرة بلاستيكية حمراء على وام فإن آلة التصوير تتركز على الكرة وهي في الهواء، ويرسم الكمبيوتر منحنى حركتها في المستقبل، وتمتد ذراع وام، لتخطفها. وليس هذا شيئا قليلا بالنسبة للص بذراع واحدة.

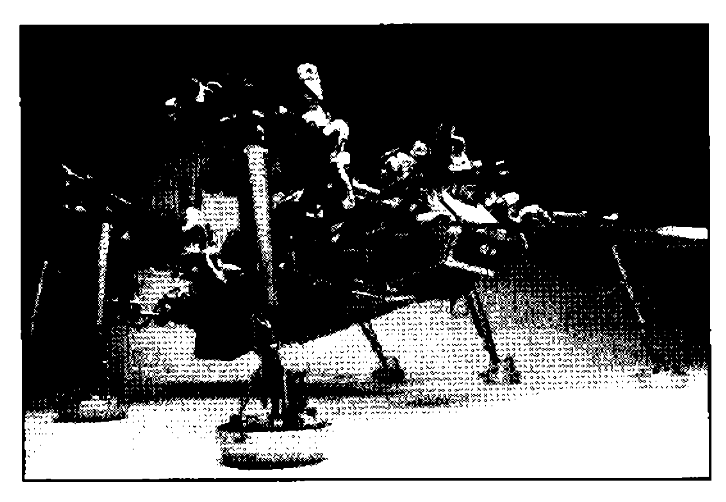
وفي الطابق الأرضي يقبع «ترودي»، وهو ديناصور ميكانيكي بطول ٤ أقدام مصمم بالتفصيل، سمّي على اسم ديناصور نحيل يشبه الدجاجة، عاش في الماضي على سطح الأرض ويدعى «ترودان»، وقد

(*) هذا اللفظ يشير إلى اسم أحد أفلام الأطفال المشهورة للفنان الأمريكي الشهير والت ديزني، وهو «ساحر أوز» (المراجع).

صمم «ترودي» ليمشي ويركض ويقفز يوما ما مثل سميّه تماما. إنه واحد من أجهزة الإنسان الآلي المتعددة تتحرك في مختبر المعهد، ويمكن لبعضها أن يثب ويقفز ويدور، وحتى ينقلب رأسا على عقب في الهواء، ويفعل كل شيء عدا الرقص. وبالتجول ضمن هذه الغرفة الغريبة يدرك المرء تدريجيا أن مختبر الذكاء الاصطناعي غرفة مليئة بالعباقرة، وهو ما كان سيحصل فيما لو أن أطفال بيتر بان الضائعين قد تحولوا كلهم إلى عباقرة ومبرمجي كمبيوتر. ويبدو كما لو أن فريقا من الأطفال الكبار الأبرياء، الذين يحملون شهادة الدكتوراه يقومون باختراع المستقبل.

وضمن هذا الخليط الفوضوي من الألعاب الميكانيكية الضخمة، هناك مخلوق شيطاني بسيط لرودني بروكس يدعى «أتيلا»، ولأتيلا وجه لا يمكن لأحد - إلا لأم - أن يحبه، ويبدو بوزن ٦ . ٣ باوند مثل صرصور ضخم بـ ٦ أرجل مصنّع من قضبان مع ١٠ كمبيوترات و١٥٠ مجسا، وهو يقضي معظم يومه وهو يزحف مثل حشرة بسرعة عالية تبلغ ١,٥ ميل في الساعة، متجنبا بنجاح كل العوائق التي توضع في طريقه. ومثل أب ينظر إلى أبنائه برضا واعتزاز يتباهى بروكس قائلا: «أونصة فأونصة فإن أتيلا هو أعقد إنسان آلي في العالم».

إن مستقبل الذكاء الاصطناعي بالنسبة لبروكس، لا ينتمي إلى أجهزة الكمبيوتر العملاقة التي تملأ طوابق كاملة، والتي تبرزها أفلام هوليوود بشكل رومانسي. إنه ينتمي بدلا من ذلك إلى حشرات ميكانيكية صغيرة، ولكنها متحركة مثل أتيلا وإلى اتجاه جديد تماما في مسألة الذكاء الاصطناعي والإنسان الآلي. وعلى نقيض أجهزة الإنسان الآلي التقليدية المتحركة التي يجب تغذيتها ببرامج كمبيوتر ضخمة، قبل أن تتحرك، فإن أتيلا يتعلم كل شيء من نقطة الصفر، وعليه أن يتعلم حتى كيف يمشي؛ فعندما يشغَّل لأول مرة تتحرك أقدامه في كل اتجاه مثل صرصور ثمل؛ ولكنه بعد كثير من المحاولة والخطأ يتعلم تدريجيا كيف يحرك أرجله الست بالتنسيق المطلوب كحشرة حقيقية. وكل ما يحتاج إليه هو قدر بسيط من التغذية المعلوماتية المرتدة، كي يتعلم كيف يزحف على كامل أرض مختبر الذكاء الاصطناعي.



«آتيلا» و«هانيبال» ـ الموضحان في الصورة ـ نهج جديد في تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي يستخدم أنماطا موجودة في الطبيعة لاستثارة الذكاء. وخلافا للروبوت المبرمج مسبقا، فإن هذه الأخيرة المؤتمتة حقا عليها اتخاذ قراراتها الخاصة.

وتدعى أجهزة الإنسان الآلي من هذا الجيل الجديد بجيل «أشباه الحشرات» أو «الحشرات الآلية» ويلاحظ بروكس أن «لدى الحشرات أجهزة كمبيوتر بطيئة جدا لا تمتلك إلا بضع مئات الآلاف من الخلايا العصبية، ومع ذلك فهي تطير في زمن حقيقي وتتجنب الأشياء. وعلى الحشرات أن تنظم ذكاءها بشكل أفضل يسمح لها أن تتجول بشكل جيد في المكان. وقد دفعني هذا إلى التفكير في كيفية إعادة تنظيم حسابات الإنسان الآلي، بحيث يمكنه التجول في المكان والزمان الحقيقيين».

لقد أدى التطور إلى نشوء حشرات تمتلك قدرة عقلية أقل من كمبيوتر عادي. ومع ذلك فإن بإمكان هذه الحشرات أن تبزّ كل منافسيها الميكانيكيين في مختبر معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وبالمقارنة مع الحشرات الصغيرة جدا ذات الأقدام السريعة، المنتشرة في أرجاء الأرض، فإن أجهزة الإنسان الآلي التقليدية مجرد آلات ميكانيكية ساذجة ومتعثرة. ولا يحتاج بروكس كثيرا إلى برامج الكمبيوتر الطويلة جدا، التي تحاول تقليد عملية «الاستدلال» والتفكير الإنساني، فمخلوقاته ـ على النقيض من ذلك ـ تمتلك أدمغة صغيرة جدا ودوائر رقيقة مصممة، لتتعلم ماذا تفعل الحشرات بشكل جيد في العالم

الحقيقي مثل: التحرك من مكان إلى آخر، والتعامل مع ما يصادفها من أشياء في البيئة المحيطة. ومنذ مدة تسبح المخلوقات المبتكرة من قبل بروكس وزملائه في الفضاء الخارجي لاستعمار كوكب المريخ. ولقد تحمست ناسا لحشرات بروكس بحيث إنها صممت أول مركبة للاستخدام على المريخ «مارس روفر»، والتي سميت «الجوال» على شكل آتيلا.

ويزن الجوال، الذي أرسل إلى المريخ على متن صاروخ دلتا ديسمبر ١٩٩٦، ٢٢ رطلا وله ٦ عجلات، ويمكنه أن يزحف ويناور فوق فوهات عميقة وأرض وعرة، بمساعدة بسيطة جدا من جهاز التحكم الأرضي. وتعد العربة مارس روفر، التي أطلقت إلى المريخ على متن باثفايندر، أول آلية برية تتجول بحرية بالتحكم الذاتي فوق الكوكب الصحراوي. (بما أن إشارة الراديو تستغرق حوالى ١٠ دقائق تقريبا لتصل إلى المريخ، عندما يكون هذا ضمن المجال، فإن توجيه روفر بجهاز للتحكم من بعد أمر مستحيل). ويخطط حاليا لإنشاء خمسة أجهزة إنسان آلي مماثلة، من أجل محطة الفضاء في المستقبل.

لقد أثارت نشرات بروكس العلمية ذات العناوين المثيرة مثل «ذكاء بدون عقل» و«الفيلة لا تلعب الشطرنج» الجدل في حقل الذكاء الاصطناعي الضيق. ولكن عقودا من المحاولة المكثفة لكتابة برامج لعب الشطرنج لم تعطنا أدنى فكرة عن السبب في أن حيوانات كالفيلة لا يمكنها أن تلعب الشطرنج، ومع ذلك فإنها ناجحة جدا في حياتها البرية. وبالمقابل فبمقدور أجهزة بروكس الصغيرة أن تمشي وتناور في عالم حقيقي، وليس في البيئات العقيمة المتحكم بها جيدا للإنسان الآلي المتحرك العادي. ولا يدعي بروكس أن لدى آلاته ما يقارب القدرة على «الاستدلال» نهائيا.

التلاقح بين الثورات الثلاث

يدعى هذا التوجه للذكاء الاصطناعي المؤسس على البيولوجية مدرسة «من الأسفل للأعلى». ولا يأتي الإلهام لهذا التوجه من الحشرات فقط، وإنما من التنوع الغني للبنى البسيطة الموجودة في حقل البيولوجية والفيزياء مثل: عيون الضفادع والأعصاب والشبكات العصبية وسلاسل الـ«د. ن. أ» والتطور وأدمغة الحيوانات. وربما يأتي أحد أكثر التوجهات غرابة (وإن كان مبشرا

بالأمل) من فيزياء الكم الذرية. وتشترك الاتجاهات العديدة في مدرسة من الأسفل للأعلى بخاصة واحدة وهي: أنها تترك الآلات لتتعلم من الصفر كما تفعل الكائنات الحية. ومثل طفل حديث الولادة، فإنها تتعلم من خبرتها الذاتية، ويمكن تلخيص هذه الفلسفة بعبارة واحدة تقريبا: التعلم هو كل شيء بينما المنطق والبرمجة لاشيء. ويتم أولا إنشاء آلة يمكنها أن تتعلم، ثم تقوم هذه الآلة بتعلم قوانين المنطق والفيزياء بنفسها عن طريق التعامل مع العالم الواقعي. وكما ذكرت مسبقا، فإن التفاعل الشديد بين فيزياء الكم والبيولوجيا الجزيئية والكمبيوتر، سيطلق التقدم العلمي في المستقبل. فبعد أعوام من الركود في حقل الذكاء الاصطناعي، بدأت ثورتا فيزياء الكم والبيولوجيا الجزيئية في تقديم فيض من النماذج الجديدة الغنية للبحث.

لقد كانت إحدى النتائج الغريبة لهذا التفاعل الوثيق بين الثورات الثلاث نتيجة اجتماعية، وهي هجرة الفيزيائيين النظريين (الذين يعملون عادة في موضوعات غامضة مثل نظرية الأوتار الفائقة الدقة، التي تسعى لتوحيد قوانين العالم الفيزيائي) إلى البحث في الدماغ. ويطبق عدد من زملائي ذوي الشهرة الواسعة في مجال الجاذبية الكمية ونظرية الأوتار الفائقة الدقة خبراتهم الواسعة في فيزياء الكم، لفهم أساليب عمل الدماغ ومعالجة الخلايا العصبية بشكل مشابه للذرات.

إن هذا التفاعل بين الثورات العلمية الثلاث هو أحد أهم العوامل التي ستحرك العلم في المستقبل، كما سنرى خلال هذا الكتاب. وعلى الرغم من أن الباحثين في مدرسة الذكاء الاصطناعي يجلسون جنبا إلى جنب في البناء ذاته، فإن هناك حدودا واضحة تفصلهم عن بعضهم البعض؛ فعلى أحد جانبي السجال هناك مؤسسو الذكاء الاصطناعي الأوائل المتميزون، الذين قضوا أعمارهم يبرمجون أجهزة كمبيوتر عملاقة، كي تحاكي الذكاء الإنساني.

كانت الفكرة التي تمثل مصدر إلهامهم هي بناء آلة مفكرة هي الكمبيوتر الرقمي، وأنها كلما كانت أكبر كانت أفضل، وقد أطلق على إستراتيجيتهم مدرسة من الأعلى للأسفل. لقد اعتقدوا أن بإمكانهم برمجة قدرة المنطق والاستدلال اللازمتين في الآلة كي تفكر. لقد افترضوا أن الآلات المفكرة سوف تخرج من الكمبيوتر، مثلما خرجت مينرفا إلهة الحكمة لدى الرومان كاملة النضج من جبين جوبيتر. لقد كانت وصفتهم لبناء آلة مفكرة بسيطة:

ضع أولا البرمجيات والقواعد المنطقية في كمبيوتر رقمي من أجل إعادة إنتاج المنطق والذكاء، ثم رش فوقها بعض البرامج الفرعية للصوت والصورة، ثم أضف أذرعا وسيقانا وعيونا ميكانيكية و... مرحى! لقد حصلت بذلك على إنسان آلي ذكي. وسيكون هناك داخل دماغ هذا الإنسان الآلي تصور كامل للعالم الخارجي، ودفتر تشغيل مفصل يصف القواعد المتبعة في الحياة في العالم الواقعي.

لقد استندت فلسفتهم على فكرة مفادها: أن الذكاء يمكن أن يحاك بواسطة آلة «تورنج» التي صممها العالم الإنجليزي آلان تورنج التي تشكل أساس كل أجهزة الكمبيوتر الرقمية. ولكنهم سرعان ما وقعوا في مأزق، لأنهم استهانوا بمهمة رسم خريطة الذكاء الإنساني، التي تتضمن قدرا هائلا من الطرق والمسارات.

وبالتالي فقد بدت آلاتهم - المبنية على الكمبيوتر - مخلوقات بائسة وضعيفة، وقد استهلكت أجهزة الإنسان الآلي المتحركة التي بنيت بحسب توجهاتهم كميات ضخمة من قدرة الكمبيوتر، ومع ذلك فقد كانت غير كفُؤة وبطيئة وخجلة إلى حد بعيد، وأخطأت أهدافها في كثير من المرات. لقد كانت بلا فائدة في العالم الواقعي. ويعترف ثوماس دين من جامعة براون بأن أجهزة الإنسان الآلي ثقيلة الحركة، التي بنيت بناء على هذه القواعد بدائية تماما. ويقول إن آلاته هي «في مرحلة تمتلك فيها من القوة ما يمكنها من المشي داخل القاعة، دون أن تخلف آثارا ضخمة على الأرض».

وبحسب رائد الذكاء الاصطناعي هربرت سيمون، فإن مطبقي الاتجاه من الأعلى للأسفل غالبا ما ورطوا أنفسهم بادعاءاتهم المندفعة. ويروي بيرثولد هورن من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا قصة حدثت في مؤتمر للذكاء الاصطناعي في بوسطن، حيث تحلق الصحافيون حول أحد العلماء الذي ادعى أن بإمكان الإنسان الآلي خلال ٥ أعوام أن يلتقط الأشياء الملقاة على الأرض، ويتذكر أنه سحب العالم إلى زاوية وأخبره «لا تقم بهذه التنبؤات! لقد فعل أناس ذلك من قبل وتورطوا في المشكلات. إنك تقلل من مقدار الزمن اللازم لذلك». رد قائلا: «لا أهتم لذلك، لاحظ أن كل المواعيد التي اخترتها هي بعد موعد تقاعدي». قلت له «حسنا لكني لن أكون متقاعدا، وسيعود الناس إليَّ ويسألونني: لماذا ليس لديهم أجهزة إنسان آلية تلتقط جواربهم في غرف نومهم!».

ومع فشل نظرية الاتجاه من الأعلى للأسفل شعر كثيرون بأن الوقت قد حان للبدء مرة أخرى من الصفر، وبالمقارنة فإن الحشرات الآلية لبروكس والمبنية على مبدأ من الأسفل للأعلى بطيئة جدا، ولكنها بعد فترة من التجربة والخطأ تمكنت من الزحف بنجاح فوق أرض متعرجة من دون جهد متجنبة العقبات. وينظر أصحاب مدرسة من الأسفل للأعلى إلى آلاتهم بأنها تشبه الثدييات في بداية نشوئها: سريعة ورشيقة، ويمكنها السيطرة عندما تنقرض الديناصورات الكمبيوترية الثقيلة. وبينما تغرق مدرسة من الأعلى للأسفل في ملايين الأسطر من رموز الكمبيوتر، فإن الباحثين المنتمين إليها، يتباهون بأن الأجهزة الذكية والصغيرة التي يبتكرونها، سوف تسود العالم.

وبالرغم من أن العلاقات بين المدرستين ودية فإنه لا يخفى أن البعض في مجتمع الذكاء الاصطناعي اعتبروا بروكس وزملاءه من مدرسة من الأسفل للأعلى مهرطقين، فلقد أصروا على فكرة ارتكاز الكمبيوتر على نماذج مستعارة من البيولوجيا والتطور. ويقول مارفين منسكي المساعد في تأسيس المختبر الذي أصدر عريضة ضد مدرسة من الأسفل للأعلى «لماذا الاهتمام ببناء إنسان آلي قادر على الذهاب من هنا إلى هناك. إنه عندما يصل إلى هناك فإنه لن يميز بين طاولة وفنجان من القهوة». ولكن بروكس يرد على ذلك بقوله «أشعر بالغضب عندما يقول الناس لي: حسنا إن أجهزتك الإنسانية الآلية لا تقوم بهذا الأمر أو ذاك. بالطبع لا تقوم بذلك، مثلما أن برامج اللعب بالشطرنج لا تتسلق الجبال أيضا».

وقد يظن المرء أن مختبر الذكاء الاصطناعي سيشُل بسبب كل هذه الاختلافات، إلا أن هناك في الواقع تسامحا تجاه هذا التباين وتشجيعا له. ويقول باتريك ونستن مدير المختبر مازحا «إنه لأمر رائع أن يختلف الناس ويتعاركوا، فهم بذلك يجعلون الأمور أكثر إثارة مرة أخرى تماما كما كانت في الأيام الأولى». ويوافق توماس لوزانو بيريز مساعد مدير المختبر على هذا الرأي ويقول «إن الإنفاق التام دليل على الموت المحتم». وقد يأتي الحل أخيرا من اندماج هاتين المدرستين في القرن الحادي والعشرين. ويعتقد رواد الذكاء الاصطناعي مثل: هانز مورافيك من جامعة كارينجي ـ ميلون أن الخطوة الأخيرة في الذكاء الاصطناعي قد تكون في خليط أو تفاعل راقٍ ومتطور لهاتين المدرستين، ويقول «ستنتج آلات ذكية تماما عندما يوحد المسمار

الذهبي، إذا استخدمنا لغة مجازية بين هذين المجهودين». ويتنبأ بأن هذا الاتحاد سيتم خلال نحو ٤٠ عاما تقريبا.

وربما كان الاندماج النهائي بين هاتين المدرستين المتعارضتين في منتصف القرن الحادي والعشرين، أكثر التقديرات واقعية لمستقبل الذكاء الاصطناعي، فلكل من هاتين المدرستين ميزات وسيئات محددة. فالبشر في المقام الأول يجمعون بين أفضل ما في هاتين المدرستين، فنحن لا نتعلم من احتكاكنا بالعالم الواقعي فحسب، وإنما باستيعاب بيانات معينة عن طريق الحفظ. ولدينا أيضا دوائر معينة «مرتبطة» بعقولنا. وسواء أكنا نتعلم الموسيقى أو لغة أجنبية أو خطوة رقص جديدة أو رياضيات عليا، فإن أدمغتنا تستخدم مزيجا من عملية التعلم بالتجربة والخطأ، إضافة إلى عملية حفظ القواعد واستظهارها.

أجهزة الإنسان الآلي المبرمجة

وبما أن الذكاء الاصطناعي لايزال في البداية، فقد تمر ٢٥ عاما أو أكثر قبل أن نرى أيا من ابتكارات مختبر معهد ماساشوستس للتكنولوجيا للذكاء الاصطناعي قد طرح في السوق، وبدلا من ذلك سيزداد تدريجيا من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ قبول أجهزة الإنسان الآلي الصناعية المتطورة المبرمجة، أو التي يتم التحكم بها من بعد في الأسواق. ومن المحتمل أن ندخل في الفترة من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ «الطور الرابع» من الكمبيوتر، عندما تبدأ أجهزة الإنسان الآلي «الروبوت» الذكية في المشي على سطح الأرض، وإعمار شبكة الإنترنت. وخلال هذه الفترة قد نرى أخيرا التفاعل بين مدرستي من الأعلى للأسفل ومن الأسفل للأعلى، مما يعطينا أجهزة إنسان آلي حقيقية لها قدرة على التمييز السليم، ويمكنها أن تتعلم وتتحرك وتتفاعل بذكاء مع البشر. وبعد عام ٢٠٥٠ من المحتمل أن ندخل «الطور الخامس» من الكمبيوتر، مع بدايات ظهور أجهزة الإنسان الآلي ذات الوعي والإدراك الذاتي.

ولتقدير أهمية هذه التطورات بصورة أفضل، من الضروري التمييز بين أجهزة الإنسان الآلي في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وهي أجهزة حقيقية يمكنها أن تعمل بشكل مستقل، وأجهزة الإنسان الآلي الصناعية المبرمجة، مسبقا الموجودة على خطوط تركيب السيارات في ديترويت. فأجهزة الإنسان الآلي

المبرمجة مسبقا تمتلك «ذكاء» اللعب، التي تعمل بالزنبرك وصناديق الموسيقى والبيانو الميكانيكية. وتتبع هذا النوع من أجهزة الإنسان الآلي تعليمات مكتوبة على أقراص أو شرائح كمبيوتر، وفيما خلا ذلك، فإن هذه اللعب تعتبر آلات أكثر اكتمالا في نموها، حيث يتعين أن تتم عملية طويلة من كتابة الأوامر والحركات بالتفصيل. وقد أنتجت استوديوهات ديزني على سبيل المثال سلسلة من أجهزة الإنسان الآلي المتميزة التي يمكنها أن تغني وترقص وتومئ وحتى أن تلقي النكات، والتي غالبا ما تكون أفضل بكثير من نكات الإنسان العادي. ولكن بالرغم من أنها تؤدي حركات متطورة شبيهة بالإنسان فإنها، في الأساس، ليست سوى ألعاب مبرمجة، وحركاتها مسجلة سلفا بعناية.

وقد استخدمت حتى الآن أجهزة الروبوت المبرمجة سلفا، والتي يتم التحكم فيها من بعد للقيام بمهام خطيرة؛ فلقد استخدم روفر «١» لإصلاح العطل في مفاعل جزيرة ثري مايل عام ١٩٧٩، بعد أن وصل ضمن ٣٠ دقيقة من الانصهار الكامل. وقد أخذ جيسون جونيور ـ وهو إنسان آلي غواص ـ صورا تاريخية عام ١٩٨٦ لحطام عابرة المحيط الشهيرة تيتانك، المهترئة والموجودة في أعماق المحيط الأطلسي. وقد نزلت عربة الكثبان الرملية الروسية «لونوخد» على سطح القمر، وتجولت في أخاديده بواسطة التحكم من بعد. وبسبب الزيادة الهائلة في قدرة الكمبيوتر، فمن المفترض أن نرى بحدود عام ٢٠٢٠ أجهزة إنسان آلي «روبوت» مبرمجة أكثر تطورا، متاحة تجاريا وتدخل بيوتنا ومستشفياتنا ومكاتبنا.

ومن بين أجهزة الروبوت المتوافرة في الأسواق منذ فترة (الصديق المساعد) helpmate، وهو إنسان آلي طبي بأربع أرجل، استُخدم في مستشفى دانبري في ولاية كونتيكت لجلب العقاقير والمعدات للأطباء والممرضات، متبعا في ذلك خريطة للمستشفى مودعة في ذاكرته، ويشغل عن طريق أوامر على لوحة مفاتيح. وقد تخفض أجهزة الإنسان الآلي الطبية في نهاية المطاف الكلفة المرتفعة جدا للعناية الطبية بالمسنين. ويستطيع الإنسان الآلي الطبي روبو سيرجيون الموجود في ميموريال ميريكال سنتر في لونج بيتش بكاليفورنيا، والذي استخدم في جراحة الدماغ أن يثقب ثقبا في جمجمة الإنسان يبلغ أجزاء من الألف من البوصة. وهو يشبه ذراعا ميكانيكة ضخمة مع إبرة يمكن استبدالها في نهاية الذراع. ولقد عمل سينتري Sentry

وهو جهاز روبوت يزن ٤٨٥ رطلا حارسا. وقد اعتادت شركة دينغ لأجهزة الروبوت المتحركة أن تبيع سنتري بحدود ٥٠ ألف دولار. وهو يشبه بمظهره الذي يبدو مثل شخصية R2 D2 في فيلم حرب النجوم برميلا بسعة ٥٥ جالونا على عجلات، وقد عمل جيدا طيلة الوقت الذي كان يقوم فيه بجولاته بصورة متكررة ذهابا وعودة، متحركا بسرعة ٥ أميال/ساعة، وتمكن من وقف عملية سطو في معرض باي سايد في بوسطن.

ويعتقد هانز مورافيك أن هذه الأجهزة البدائية ستتطور في النهاية إلى أجهزة إنسان آلي أكثر تقدما حسب المخطط الزمني التالي تقريبا: من عام ٢٠٠٠ وحتى ٢٠١٠ ستتطور هذه الأجهزة بشكل متزايد إلى أجهزة مساعدة يمكن الاعتماد عليها، وقادرة على التجول في المصانع والمستشفيات والمنازل وأداء أعمال محددة. وهو يدعو مثل هذه الأجهزة باسم «فولكس روبوت»، أو أجهزة الإنسان الآلي الشعبية، فهي تستطيع أن تقلم العشب وتعمل كخدم وتضبط محرك السيارة، وربما أمكنها أن تطبخ وجبات الطعام الشهية.

ومن عام ٢٠١٠ وحتى عام ٢٠٢٠ ستستبدل هذه الأجهزة بآلات يمكنها أن تتعلم من أخطائها. وعلى الرغم من أنها ستكون سمجة في البداية، فإنها ستتعلم من تفاعلاتها المستمرة مع البشر. وقد تمتلك نظاما بدائيا للإحساس بـ «الألم» و«اللذة» يدفع في اتجاه القيام بأفعال إيجابية وتحريم أخرى سلبية.

من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠: الروبوت والدماغ

لقد كان اتجاه من الأعلى للأسفل أقل نجاحا في حقل علم الروبوت الذي يدرس الآليات التي بإمكانها تمييز العوائق والالتفاف حولها. وقد بني أول جهاز روبوت متحرك أطلق عليه اسم شيكي Shaky عام ١٩٦٩ في معهد البحوث في ستانفورد، وكان يشبه علبة صفيح ضخمة تجلس على عجلات، وفي أعلى الصفيحة كانت هناك آلات تصوير تلفزيونية، وكاشفات للمجال، وهوائي راديو لوصله مع كمبيوتر بعيد. ولقد كان بإمكان هذا الجهاز أن يتعرف على الأجسام الهندسية فقط في بيئة يتم التحكم فيها بعناية، وحتى عند ذلك فقد استغرق منه الانتقال عبر الغرفة عدة ساعات. ولسوء الحظ لم يحصل تقدم كبير أبعد من «شيكي» خلال الـ ٣٠ عاما المنصرمة.

لقد كانت إحدى المصاعب التي اعترضت أجهزة الإنسان الآلي المتحركة هي مشكلة (التعرف على الأنماط) الشهيرة، فهذه الأجهزة البدائية المتحركة تستطيع أن ترى، ولكنها لا تستطيع فهم ما تراه. وعندما تمسح آلة تصويرها غرفة، فإنها تقسم الصورة إلى آلاف النقط الصغيرة، والتي يجب مقارنتها نقطة فنقطة مع الصورة المخزنة في ذاكرتها. ويستغرق هذا الأمر من ساعة إلى عدة أيام. إن قيادة السيارة التي تتطلب التعرف على مشهد متغير باستمرار غير ممكنة حتى بالنسبة لأقوى أجهزة الروبوت. وكذلك فإن التعرف على الوجوه مشكلة صعبة بشكل خاص. ومن الصعب على أجهزة الكمبيوتر التعرف على وجه إنسان إذا أدير هذا الوجه لعدة درجات فقط.

ولكن عقولنا البشرية تستطيع التعرف على البيئات الجديدة المحيطة، كما يمكنها أن تميز وجها واحدا من بين آلاف الوجوه في جزء من الثانية. وربما كانت ثلاثة الأرطال ونصف من الأعصاب الموجودة فوق أكتافنا أكثر الأجسام تعقيدا في النظام الشمسي، وحتى في هذا القطاع من المجرة التي يوجد فيها النظام الشمسي. وعلى الرغم من أنه بإمكاننا إمساك الدماغ وتفكيكه عصبا عصبا فإنه لا تتوافر لدينا إلا أبسط الأفكار حول طريقة عمله.

لقد سحر العلماء بحقيقة أن الدماغ مؤلف من عدد من الطبقات التي تمثل التقدم التدريجي لعملية تطورنا. وبما أن الطبيعة مقتصدة، وهي تعيد عادة استخدام أشكال أدنى لتصبح أشكالا أرقى بدلا من أن تدمرها، فإن عقولنا تعمل كمتاحف تحتفظ بتاريخها التطوري، ونتيجة لذلك فإن عقولنا تتألف من طبقات عدة متميزة ومتمحورة، تبدأ من أكثر الطبقات بدائية، وتحتوي على طبقات متتالية أكثر تقدما تحيط بالطبقات السابقة.

إن الطبقة الأولى من المخ والأكثر عمقا، والتي يدعوها البيولوجي باول ماكلين القاعدة العصبية، هي التي تتحكم، في وظائف الحياة الأساسية مثل التعرق وخفقان القلب ودوران الدم، وتتألف من النخاع الشوكي وجذع المخ والمخ الأوسط. وتؤلف القاعدة العصبية في الأسماك معظم المخ، وتحيط بالقاعدة العصبية طبقة الزواحف R. Complex، وهذه الطبقة مشتركة بيننا وبين الزواحف، مما حدا بالبعض إلى تسميتها «مخ الزواحف» Reptelian brain وتضم: الفص الشمسي والجسم المخطط والكرة الدماغية الشاحبة، وتتحكم هذه الطبقة في السلوك العدواني والتراتب الاجتماعي وتحديد منطقة النفوذ.

وحول هذه يوجد النظام الحوفي Limbic ، الذي يوجد في الثدييات. وهو يتحكم في العواطف والتصرف الاجتماعي بشكل رئيسي وفي الشم والذكريات أيضا. ومع تطوير الثدييات لعلاقات اجتماعية معقدة من أجل البقاء، فقد كانت هناك حاجة إلى الجزء الأعظم من الدماغ، من أجل معالجة مشاكل العيش، وديناميكيته في مجموعة مترابطة. وأخيرا تحيط بكل الطبقات السابقة القشرة المخية الجديدة، التي تتحكم في التفكير واللغة وإدراك المكان وعدة وظائف أخرى. وعلى نقيض أدمغة الحيوانات الأخرى الملساء، فإن أدمغتنا تحتوي على تلافيف مميزة على سطحها، تزيد من مساحة القشرة الدماغية.

ومن هذه الزاوية فإننا نرى أن أجهزة الإنسان الآلي الحالية لا تزال في المرحلة الأكثر بدائية، إذ إنها لا تمتلك إلا القاعدة العصبية. ولم يتطور إلى الآن لدى هذه الأجهزة إدراك للترتيب الاجتماعي، أو أي عواطف أو مهارات اجتماعية أو عقلية، كالتي تتميز بها الحيوانات الأكثر تعقيدا من الأسماك. ولكننا نستطيع، من خلال هذا العرض، أن نقدر تعقيد دماغ الحيوان والمسافة التي علينا قطعها، من أجل أن نصل إلى إمكانات المخ البشري.

ويعد ميجل فيراسورو هو أحد فيزيائيي الكم المسحورين ببنية الدماغ البشري، وقد عين أخيرا مديرا للمركز الدولي الشهير للفيزياء النظرية في تريستا بإيطاليا، الذي تشارك في إدارته الأمم المتحدة. وقد حاز فيراسورو في الأساس سمعته الدولية من جراء عمله على نظرية الأوتار الفائقة الدقة، ولقد أطلق اسم علم الجبر الفيراسوري على نظريته في تماثل الأوتار الفائقة الدقة تكريما له. ولكن فيراسورو هو واحد من فيزيائيي الكم، الذين قادهم انبهارهم بالذكاء الصناعي إلى مجال الشبكات العصبية ونظريات المخ. ويعتقد فيراسورو أن قدرة الشرائح الدقيقة ستقترب يوما من القدرة الحاسوبية للعقل البشري. ويسأل «هل يعني هذا «أن المخ كمبيوتر»؟ لقد تجاوزت أجهزة الكمبيوتر المتوافرة لدينا إلى الآن القدرة الحاسوبية لأدمغة بعض الحيوانات أو قاربتها. وبإمكان كمبيوتر من نوع SUN4 أن يعالج معلومات بمعدل ٢٠٠ مليون بايت/ثانية، ويعادل هذا من ناحية السرعة فقط دماغ الحلزون الذي يحتوي على ١٠٠ ألف خلية عصبية، ويستطيع الكمبيوتر Cray 3 ـ وهو أحد أسرع أجهزة الكمبيوتر على الأرض ـ أن يعالج بمعدل

١٠٠ بليون بايت/ثانية، ويمكن مقارنة هذا بدماغ الفأر الذي يحتوي حوالى ٦٥ مليون خلية عصبية.

وبالمقارنة يقدر بعض العلماء أن الدماغ البشري يمكن أن يحسب بمعدل ١٠٠ تريليون بايت/ثانية، أو أسرع بحوالى ١٠٠٠ مرة من Cray 3. وبما أن القدرة الحاسوبية تتضاعف مرة كل ١٨ شهرا، فمن الممكن اشتقاق تقدير حسابي للزمن الذي تتجاوز فيه أجهزة الكمبيوتر القدرة الحاسوبية للعقل البشري، إذا لم يحدث توقف في التقدم نتيجة لانتهاء العصر السيليكوني. وإذا استمرت الميول الحالية، فيمكننا بناء أجهزة كمبيوتر بسرعة الدماغ البشري، تحتوي على القدر ذاته من المعلومات في وقت مبكر في القرن الحادي والعشرين، وربما بين ٢٠١٠ و٢٠٣٠. وبحدود ٢٠٤٠ ستمتلك حتى أجهزة الكمبيوتر الشخصية القدرة الحاسوبية للدماغ البشري.

في عام ١٩٩٦ منحت وزارة الطاقة عقدا بقيمة ٩٣ مليون دولار لشركة آي. ب. م، لبناء أسرع كمبيوتر في العالم بحدود عام ١٩٩٨، ويمكن لهذا الجهاز تداول ٣ تريليونات عملية في الثانية، ومعالجة ٢,٥ تريليون بايت من المعلومات، وبهذا فإنه يصبح على مقربة من قدرات الدماغ البشري.

إن اعتراض فيراسورو الأساسي على الاتجاه من الأعلى للأسفل هو أن الدماغ ليس آلة تورنج، وفي الحقيقة فهو ليس كمبيوتر على الإطلاق. إن ابتكار أجهزة كمبيوتر أسرع فأسرع بأمل تقليد الدماغ البشري مسعى لا طائل منه. ولمعرفة ذلك فمن الضروري فهم كيفية توصيل الدماغ: فهناك حوالى ٢٠٠ بليون خلية عصبية في المخ أو ما يناهز عدد النجوم في مجرة درب اللبانة. وهي تطلق نبضات ربما ١٠ ملايين بليون مرة في الثانية. وعلى الرغم من أن نبضات العصب تنتقل بمعدل بطيء جدا يبلغ ٣٠٠ قدم/ ثانية (أو بحدود ٢٠٠ ميل/ساعة)، فإن الدماغ يعوض عن هذا البطء بواسطة التعقيد البالغ لوصلاته المتوازية.

ويشير فيراسورو إلى أن كل خلية عصبية ترتبط بحوالى ١٠ آلاف خلية عصبية أخرى، ولذا فإن الدماغ يعمل (كمعالج على التوازي)، منفذا تريليونات العمليات في الوقت ذاته كل ثانية. ومع ذلك فهو لا يستهلك سوى حوالى الطاقة التي يستهلكها مصباح كهربائي عادي. ولتقدير كفاءته فإنه إذا تمكن المرء بوسيلة ما من بناء كمبيوتر عادي بقوة دماغ الإنسان،

فإنه سيستهلك بحدود ١٠٠ ميجاوات، وهي طاقة كافية لتزويد بلدة بأكملها بالكهرباء. وبالرغم من أن أجهزة الكمبيوتر يمكنها أن تحسب بسرعة الضوء تقريبا، إلا أنها تقوم بهذه الحسابات واحدة تلو الأخرى. أما الدماغ فيحسب بالمقارنة بسرعة الحلزون، ولكنه يعوض عن هذا البطء بإجراء تريليونات العمليات في الوقت ذاته، ونتيجة للطريقة التي يعمل بها الدماغ، فإن أجزاء كبيرة منه يمكن أن تهلك نتيجة لسكتة دماغية. ومع ذلك يستطيع الدماغ أن يعمل ويستعيد بعض الوظائف المفقودة، وبالمقابل يمكن لآلة تورنج أن تتحطم بالكامل عند ضياع ولو ترانزستور وحيد صغير، ولذا فالدماغ يتحمل العطل إلى حد بعيد. وبالنسبة إلى فيراسورو فإن المخ هو بالفعل شبكة عصبية معقدة جدا، وهذا هو أساس مدرسة من الأسفل إلى الأعلى للذكاء الاصطناعي.

أجهزة الإنسان الآلي الناطقة

أويها! عواء منخفض غير بشري تقريبا يملأ الغرفة. ومثل أب فخور يستمع إلى طفله وهو يقول (بابا) للمرة الأولى، فإن تيري سيجنوسكي الأستاذ الشاب، الذي يعمل على نظرية الشبكة العصبية يبتسم برضا عميق. ويأتي الصوت «أويها» الذي يشبه العويل من آلته نيتوك (الشبكة الناطقة Netalk). لقد ابتكر في أحد فصول الصيف في جامعة جونز هوبكنز شبكة عصبية ناطقة، دخلت التاريخ لأنها تستطيع أن تتعلم كيف تلفظ اللغة الإنجليزية من الصفر تقريبا. لقد رفض سيجنوسكي الاتجاه السائد من الأعلى للأسفل، من أجل إعادة إنتاج الكلام البشري. لقد ألقى بعيدا بقواميس اللفظ السمجة والبرامج المتخمة بالقواعد اللفظية وقائمة الاستثناءات الصعبة للقواعد السابقة كلها، والتي لا تمتلك أي منطق أو وزن، و استبدل دائرة عصبية بسيطة بشكل مدهش بذلك كله. وتتعلم نيتوك الحديث بالإنجليزية بإعجاز بطريقة التجربة والخطأ، التي نستخدمها نحن. فلا وجود لبرامج أو قواميس أو قواعد للتصريفات الشاذة، بل توجد القدرة على التعلم من الأخطاء فقط.

ويبدأ سيجنوسكي تجربة نموذجية بإعطاء نيتوك تسجيلا لنص معين (عادة مقال لطفل من ١٠٠ كلمة)، ثم تبدأ نيتوك بمحاولة غير منظمة

لقراءته. ثم تطبق قاعدة «هيب»(*). ففي كل مرة تقرأ فيها النص تقارن محاولتها المتعثرة مع النص، وتقوم بإجراء تعديلات بسيطة في شبكاتها العصبية، وتُعزّز كل وصلة عصبية تقترب من اللفظ الصحيح، ومع كل تعديل تقترب نيتوك تدريجيا من النص. وبهذه الطريقة تقلد الطريقة التي يتعلم بها الأطفال كيفية لفظ الكلمات. لقد عرف علماء النفس منذ زمن بعيد بوضعهم مسجلات قرب أطفال رضع، عندما يكونون وحدهم ليلا قبل ذهابهم إلى النوم، أن هؤلاء يرددون باستمرار صوت بعض الكلمات على أنفسهم، حتى يتمكنوا ببطء من إتقان كل كلمة. ومع كل محاولة يقترب الطفل من اللفظ الصحيح. ويشرح سيجونوفسكي طريقة نيتوك في التعلم «إن أول ما تكتشفه هو التمييز بين الأحرف المتحركة والساكنة. ولكنها لا تعلم أيها يكون ذلك، ولذا فهي تضع أي حرف متحركا كان أم ساكنا، إنها تتلعثم بالكلمات».

إن شبكة عصبية مثل نيتوك الناطقة هي مجموعة من الخلايا العصبية الإلكترونية، التي تقلد عمل الدماغ. وفي كل مرة تختار فيها شبكة عصبية خيارا صحيحا تدعم الدوائر بتغيير في كل خلية، وفي كل مرة تخطئ فيها تُقلّل من قوة الوصلات. وبعد عدة ساعات من هذه العملية البطيئة جدا، يمكن للمرء أن يكتشف تقدما ملحوظا باتجاه اللفظ الصحيح. ويقول سيجنوسكي بحماس «استمع إلى الفارق!» لقد اكتشفت الآن الفراغات، ثم التمييز بين الكلمات، ولذا فإنها تتكلم بفيض من الأصوات وشبه الكلمات».

وبعد يوم واحد تقريبا فإن التقدم مدهش. وتستطيع نيتوك بعد ٢٤ ساعة أن تقرأ النص بدقة تصل إلى ٩٨٪، وبمستوى طالب في الصف الثالث. وقد استطاعت بعد ١٦ ساعة أن تقرأ بدقة غريبة الكلمات «إنني أمشي من المدرسة إلى البيت مع بعض الأصدقاء، أود أن أذهب إلى بيت جدتي لأنها تعطيني الحلوى». وبالطبع لا يزال أمام الشبكات العصبية طريق طويل، قبل أن تتمكن من محاكاة الدماغ البشري بدقة. وكما قال الفيزيائي هاينز بيجل: «إن الفرق بين خلية عصبية حقيقية وخلية عصبية صناعية هو كالفرق بين يد بشرية وزوج من الملاقط»، ولكن مجرد أن هناك

(*) دونالد هيب Donald Hebb: عالم نفس كندي درس في الجامعات الأمريكية في عام ١٩٤٩، أصدر كتابه «تنظيم السلوك»، الذي ذكر فيه أن الذكريات التي تدوم لأمد طويل تُشَفَّر في المخ، من خلال تغيرات كيميائية في مشابك، أو نطاق التقاء الخلايا العصبية، وكانت أبحاثه منطلقا لما عرف فيما بعد بعلم النفس الحيوي biopsychology (المراجع).

إمكانا لأن تتكلم خلية عصبية بسيطة أمر مدهش، ويشير إلى أنه من الممكن محاكاة القدرات البشرية إلكترونيا.

الإنسان الآلي يلتقي بفيزياء الكم

إن سيجونوفسكي واحد من علماء فيزياء الكم، الذين وجدوا حقلا جديدا خصبا للبحث: استخدام قوانين نظرية الكم لاستكشاف أسرار المخ، والبحث في هذا المجال يختلف بالطبع كثيرا عن الفيزياء النظرية البحتة. فالهدف في الفيزياء هو إيجاد الحل الأبسط والأكثر أناقة لأشد المسائل عمقا مثل: الانفجار الأعظم ونظرية المجال الموحد. أما البيولوجيا فهي تتسم بأنها أقل نظاما وأناقة وبطرقها المسدودة، ويمثل المخ الناتج النهائي لطرقها الملتوية. وعلى حين ترتكز الفيزياء على القوانين «العامة» فإن القانون العام الوحيد المعروف في البيولوجية، هو قانون التطور برغم تعرجاته ومصادفاته. ويلاحظ سيجونوفسكي «أن كثيرا من التفاصيل والقرارات التنظيمية في البيولوجية هي مصادفات تاريخية. ولا يمكنك أن تفترض أن الطبيعة سلكت أبسط الطرق وأقصرها لتعمل شيئا ما، فبعض الخصائص هي بقايا لمرحلة سابقة من التطور، أو من الممكن أن بعض الجينات التي يصادف وجودها موجهة نحو غرض آخر». لقد اتبع سيجونوفسكي بتصميمه نيتوك خطا فيزيائي الكم جون هوبفيلد، الذي ساهم في فتح حقل الشبكات العصبية عام ١٩٨٢، مما أدى إلى موجة الاهتمام الحالية بنظرية الشبكة العصبية بعد عقود من الإهمال.

ويبدو جون هوبفيلد الطويل والوسيم والمتأنق - برأسه المدفون في جبل من الجداول الغامضة، التي تسجل مواصفات البلورات والمعادن وأشباه الموصلات - أشبه برئيس كلية أو مدير مجلس إدارة منه بعالم في مجال فيزياء الأجسام الصلبة. بدأ هوبفيلد في نهاية السبعينيات بحضور حلقات بحث حول علم الأعصاب مرتين في العام في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وبعد برهة بدأ يدرك أن حقل الذكاء الاصطناعي لا يمتلك إلا قليلا من المبادئ المنظمة، وأنه خليط غير متماسك من أجزاء منفصلة ولكنها مثيرة من المعرفة. وبدأ يتساءل فيما إذا كانت هناك أي مبادئ عميقة وراء

الذكاء الاصطناعي كما في الفيزياء. ففي فيزياء الأجسام الصلبة، حيث ترتبط الذرات مع بعضها البعض بشكل وثيق في بنية شبكية، توجد مبادئ تنظيمية بسيطة تسلم بها نظرية الكم. لقد كان هوبفيلد - على سبيل المثال - يدرس دوران الذرات في الأنظمة الشبكية في مادة الزجاج، التي تتألف من مصفوفة من الذرات الدوّارة. وقد تساءل عما إذا كانت مصفوفة الذرات الموجودة في الجسم الصلب بينها أوجه شبه بالخلايا العصبية في الدماغ (هل من الممكن اعتبار الخلية العصبية في الدماغ مثل ذرة في بنية شبكية؟)، لقد أدى هذا إلى نشره ورقة علمية شهيرة عام ١٩٨٢ بعنوان «الشبكات العصبية والأنظمة الفيزيائية الناشئة ذات القدرات الحاسوبية المجمعة»، لقد كانت هذه الفكرة فكرة ثورية حقا، مثلت قفزة في المنطق أدهشت عالمي الذكاء الاصطناعي وفيزياء الكم، ففي السابق اعتبرت مدرسة من الأعلى للأسفل «العقل» على أنه برنامج كمبيوتر معقد، موضوع ضمن كمبيوتر ضخم. ولكن هوبفيلد اقترح بأن الذكاء قد ينشأ وفقا لنظرية الكم عن ذرات من دون عقل، ومن دون أي برامج على الإطلاق!. وقد لاحظ الفيزيائي هاينز بيجلز «أن أحد الآثار الجانبية لعمل هوبفيلد هو أن العديد من النظريين الفيزيائيين الذين عملوا في مجال دوران الذرات في الأنظمة الشبكية للزجاج، أصبحوا - بين عشية وضحاها - خبراء في خصائص الشبكات العصبية، وقد غير بعضهم مثل هوبفيلد مجال اختصاصه».

وقد أشار هوبفيلد في ورقته الرائدة، إلى أن الفكرة ليست منافية للعقل كما تبدو في الظاهر، فكل ذرة في جسم صلب تدور ويمكن - على سبيل المثال - أن توجد في عدة حالات مميزة مثل الدوران للأعلى أو للأسفل. وبالمثل توجد الخلية العصبية أيضا في حالات منفصلة، قد تطلق طاقة أو لا تطلق. وفي كم من المادة الصلبة هناك مبدأ عام يحدد الوضع الذي يفضله النظام، أي أن الذرات ترتب نفسها بحيث تكون طاقتها أدنى ما يمكن. ويمكن اختزال فكرة هوبفيلد إلى ما يلي: تختزل شبكة عصبية «طاقتها» إلى الحد الأدنى، كما تفعل المادة في حالتها الجامدة تماما.

لقد جسدت تلك الفكرة اكتشاف هوبفيلد، فقبله لم يكن هناك مبدأ موحد يسمح للمرء بفهم الشبكات العصبية. ولقد عثر هوبفيلد باستخدام المبادئ العامة لنظرية الكم على المبدأ الموحد للشبكات العصبية. فكل الخلايا

العصبية في الدماغ تعمل على نحو تقلل فيها «الطاقة» المستخدمة في الشبكة إلى الحد الأدنى. و«التعلم» هو عملية التوصل إلى استخدام الطاقة الأدنى، وكما يقول جيم أندرسون من جامعة براون «لقد علمنا دائما أن الشبكات العصبية تعمل، ولكن هوبفيلد أوضح لماذا تعمل: لقد كان ذلك مهما حقا لأنه أعطانا الشرعية».

ونتيجة لذلك فقد انفتح عالم جديد بالكامل من البحث العلمي، وأصبح الفيزيائيون جزءا من طليعة جديدة من الباحثين المختصين في بحوث الشبكات العصبية. وكما التقط الرياضي البريطاني آلان تورنج المبدأ الرياضي الجوهري للآلة الحاسبة، فقد اكتشف هوبفيلد أحد القوانين العامة وراء الشبكات العصبية. وقد ساعد هذا بدوره على الإحياء الحالي لنظرية الشبكات العصبية.

ومن السهل تصور الفكرة الأساس وراء اكتشاف هوبفيلد. لنأخذ على سبيل المثال كرة تتدحرج إلى أسفل منطقة وعرة مليئة بالشقوق والوديان والجبال، وبالطبع فإن الكرة ستتدحرج إلى أحد الوديان. وبعبارة أخرى، فإن الكرة تبحث عن وضعية الطاقة الدنيا للجاذبية (الوادي). تصور الآن أن المنطقة الوعرة تمثل كل الحالات المحتملة للخلايا العصبية في الدماغ، حيث تمثل كل نقطة في هذه المنطقة حالة معينة للأوزان في الشبكة العصبية (توجد المنطقة في مكان يحدده البُعد «ن»، وفي كل مرة تتدحرج فيها الكرة تتغير الأوزان في الشبكة العصبية، بحيث تتدحرج الكرة نحو حالة تبذل فيها أقل طاقة، والكرة المتدحرجة تمثل هنا عملية التعلم المعقدة. وعلى الرغم من أن رياضيات الشبكة العصبية يمكن أن تكون معقدة جدا، فقد بين هوبفيلد أن الصورة الرياضية الأساسية ليست أصعب من كرة تتدحرج أسفل هضبة.

لقد تابع هوبفيلد عمله ليجد أن شبكاته العصبية أظهرت تصرفا غير متوقع، يقلد الوظائف الفعلية للدماغ. فقد اكتشف ـ على سبيل المثال ـ أن الشبكة العصبية تتصرف بالطريقة ذاتها تقريبا، حتى بعد إزاحة عدد من الخلايا العصبية، أي أن هندسة الوديان لم تتغير. وبعبارات أخرى فإن الوديان تناظر «الذكريات»، ومثل الذكريات الحقيقية التي تبقى في المخ حتى بعد تلف ملايين الخلايا الدماغية، فإن هذه الوديان في الشبكة العصبية تكون مستقرة تماما، حتى بعد أن تُحطم جزئيا. وبدلا من أن تكون هذه

الوديان أو الذكريات مجمعة في موضع واحد في الدماغ، فإنها تكون موزعة على كامل النظام.

لقد قدم ناتج جانبي آخر لهذا النموذج تفسيرا للأفكار المتسلطة، فإذا لم تكن حذرا أحيانا في تحضير شبكة عصبية، فإن واديا معينا قد يصبح كبيرا جدا بحيث يلتهم كل الوديان المجاورة. وسوف تقع الكرة حتما بعد ذلك في الثقب الفارغ. وهذا ما قد يحدث في حالة وجود فكرة متسلطة. لكن أغرب ناتج جانبي لهذه الفكرة البسيطة والمبدعة في الوقت ذاته، لم يكن متوقعا على الإطلاق، فلقد وجد هوبفيلد أن شبكاته العصبية بدأت تحلم!

ما طبيعة الأحلام؟

ما الذي يسبب الأحلام؟ لقد كان المتصوفون يرون أنها دلائل تنبئ بحوادث في المستقبل، أما بالنسبة لسيجموند فرويد فقد كانت بمنزلة نافذة على العقل اللاواعي، تمثل أجزاء من رغبات مكبوتة، ولقد اعتقد فرويد أنه يستطيع من خلال الأحلام أن يستكشف الأسرار الخفية للرغبات والغرائز.

وتوجد اليوم نظريات حول الأحلام بعدد مدارس علم النفس، غير أن أيا منها لم يستطع أن يقدم برهانا تجريبيا مقنعا لمصلحته. لقد وجد علماء النفس أن الأحلام ضرورية لصحتنا العاطفية، فإذا ما قوطعنا في كل مرة نبدأ فيها بالحلم فإننا نصبح غير مستقرين وغير عقلانيين بصورة متزايدة، حتى ولو سمح لنا أن ننام لساعات. (نستطيع مقاطعة شخص نائم تماما في الوقت الذي يدخل فيه حالة الحلم عن طريق مراقبة العينين والدماغ بالنسبة لحركة العين السريعة، وموجات ألفا على جهاز رسم المخ. وبهذه الطريقة قررنا أن بعض الحيوانات الثديية قد تحلم أيضا).

وبالنسبة لهوبفيلد فإن الأحلام حالات متغيرة من الطاقة ضمن نظام ميكانيكي كمي، ولقد اكتشف أن شبكاته العصبية أعادت إنتاج كثير من خصائص الأحلام التي تم التعرف عليها منذ فترة من قبل علماء النفس، الذين وجدوا أننا في حاجة إلى أن ننام ونحلم بعد سلسلة من الخبرات المرهقة. لقد وجد أنه إذا ملأ شبكة عصبية بذكريات كثيرة جدا (أي بوديان)، فإن النظام يبدأ بالتعطل نتيجة للتحميل الزائد، أي أن الزمن

اللازم للوصول إلى ذكريات مختلفة يصبح غير متساوٍ بشكل متزايد ويخطئ في تذكر ذكريات تعلمها مسبقا. وفي الحقيقة تبدأ تجعدات غير مرغوبة لا تتعلق بأي ذكريات حقيقية على الإطلاق بالتشكل على سطح المنطقة. وتدعى هذه التجعدات «ذكريات زائفة»، وهي التي تتعلق بالأحلام. وعلى نقيض الوديان الفعلية فإنها لا تمثل أحداثا فعلية ولكنها مؤلفة من أجزاء من ذكريات موجودة.

ومن أجل التخلص من هذه الذكريات الزائفة، فإنه يضيف اضطرابا صغيرا إلى النظام مغيرا المنطقة فجأة (أي أن الكرة سوف ترمى من الوادي لتتدحرج مرة أخرى). ويسمح للنظام أن يستقر مرة أخرى إلى حالة من الطاقة الدنيا. ويقول هوبفيلد: إن هذا يماثل حالة النوم. وبعد عدة مراحل من الحلم والنمو «يستيقظ» النظام منتعشا، أي يتوقف عن العمل الخاطئ ويمكنه أن يستدعي كل ذكرياته بالمعدل ذاته. وإذا كان هوبفيلد على حق، فإن على كل الشبكات العصبية المتطورة جدا ميكانيكية كانت أم عضوية أن تحلم كي تعالج ذاكرتها. وكلما حملت شبكة عصبية بشكل زائد، فإنها تبدأ بالضرورة بالتصرف بشكل غير عادي خالقة ذكريات غير حقيقية، أي أحلاما تتألف من أجزاء عشوائية لذكريات حقيقية. وينام النظام من أجل أن يُنقّي نفسه من هذه التجعدات الزائفة أو الأحلام. ويعتقد هوبفيلد أن هذه الذكريات الزائفة قد تكون مرتبطة بشكل وثيق بعمليات الدماغ الخلاقة، ويقول «إذا أردت أن يكون لديك تصرف جديد أو ما تحب أن تدعوه بـ (الأصالة)، فهذه هي الطريقة لإيجاد ذلك».

وهناك عالم فيزياء كمية آخر انضم إلى قافلة الشبكات العصبية، وهو ليون كوبر، الحاصل على جائزة نوبل، وهو من جامعة براون، وقد أسس هذا العالم شركة تجارية تدعى «نيستر» تسوق أجهزة الشبكة العصبية في رود آيلاند. ويشير كوبر إلى أن أسلوب «من الأعلى للأسفل» سمج جدا لتأدية مهمات مثل: التعرف على أرقام مكتوبة بخط اليد، فواتير بطاقة الاعتماد. ويقول «ليست المشكلة هي أنك لن تتمكن من تصنيعها، ولكنها ستكون شبيهة بصنع سيارة تجري على أربعة أقدام، فلن يكون لهذا أي معنى».

إن أحد التطبيقات التجارية الأولى لنظرية الشبكة العصبية، هو كاشف القنابل للطائرات، الذي يتحرى عن بعض المواد الكيمياوية مثل: المتفجرات

البلاستيكية غير المرئية عادة بواسطة أشعة إكس. وتغمر الحقائب أولا بإشعاع نيوتروني يمتص من قبل المتفجرات، وعندما تصدر المتفجرات بعد ذلك أشعة جاما محددة، تتعرف آلة الشبكة العصبية على هذا النموذج وتصدر إنذارا.

وعلى نقيض أجهزة الكمبيوتر التقليدية من نموذج الأعلى للأسفل، فإنك لا تبرمج هذه الآلات. وتلخص باربارا يوون مديرة برنامج تكنولوجيا الشبكة العصبية الصناعية في وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتطورة ذلك بقولها: «إنك تدرب النظام بدل أن تبرمجه».

وتشتمل التطبيقات الواعدة الأخرى، التي حللت من أجل استخدامات تجارية في المستقبل على:

- التعرف على خط اليد.
- اكتشاف فواتير بطاقات الاعتماد المزورة بمعرفة عادات صرفك للنقود.
- التعرف على الأنماط التي تظهر على شاشات الرادار والأجهزة الصوتية.
- تحليل مخاطر الرهونات.
- التعرف على أنماط في خلايا الدم (وقد دخلت في الاستخدام مسبقا لإثبات أصل الخيول).

وتعطينا الشبكات العصبية طريقة جديدة أيضا لحل المشكلة الشائكة في التعرف على الأنماط، والتي تعتبر ضرورة للرؤية. وتستخدم مدرسة «من الأسفل للأعلى» حاليا نماذج بسيطة مبنية على الطبيعة مثل: محاكاة عيون الحيوانات. فبدلا من المقارنة الشاقة لملايين النقط الموجودة ضمن صورة لكل صورة مخزنة في بنك الذاكرة، فإن الحيوان يرى بالتركيز على أدلة أبسط مثل: الحركة والحواف والألوان والظلال... إلخ. فعيون الضفادع - على سبيل المثال - حادة بصورة خاصة لكشف الحركة المفاجئة مثل: حركة ذبابة. وقد قيل إنه بإمكانك الإمساك بضفدع بالوقوف بلا حركة أمامه مباشرة، ثم تحريك يدك ببطء نحوه، وبالتالي تتجنب مجسات كشف الحركة في دماغ الضفدع. والمهم بالنسبة لعين الضفدع هو أن الشبكية وحدها تمتلك القدرة على التعرف على الأشياء المتحركة، فالخلايا في شبكية الضفدع لديها جهاز رصد مدمج للحركة.

لقد أحرز كارفر ميد من جامعة كاليفورنيا للتكنولوجيا «كالتك» بعض النجاحات المدهشة، عن طريق محاكاة شبكية الضفدع بـ «شبكة سيليكونية». وهي شبكة عصبية مزودة بمستقبلات صور يمكنها أن تكشف الحركة تماما مثل الضفدع. لقد كان ميد بالفعل أول شخص يضع شبكة هوبفيلد العصبية على شريحة سيليكونية. وباستخدام أشباه الموصلات وآلات صنع الشريحة القياسية، فقد خطط شريحة بـ ٢٢ خلية عصبية وضحت أفكار هوبفيلد. ويقول في ذلك «ما عليك إلا أن تضع عدسات فوقها، وسوف «يرى» أن بإمكانها أن تحسب كيف تتحرك الأجسام. وبالطبع فإن هذا أحد الأشياء التي تقوم بها شبكات حقيقية، ولكنه شيء مهم، ولا يمكن لأنظمة الرؤية بالكمبيوتر التقليدي القيام به. إنك ببساطة لا تستطيع القيام بذلك. هناك أناس يضعون أجهزة الكمبيوتر خلف آلة التصوير التلفزيونية، ويحاولون القيام بالأعمال التي تقوم بها هذه الشريحة الصغيرة، ولكنها لا تعمل، وهذا هو سبب قيامي بهذه الحركة أولا. إن هذا شيء لا تستطيع مدرسة من الأعلى إلى الأسفل القيام به».

ويتمثل الإنجاز الآخر في بناء نموذج مماثل لإدراك الشكل في دماغ نحلة، وعلى الرغم من أن دماغها لا يحتوي إلا على مليون خلية عصبية (أي أنه أقل من الدماغ البشري بحوالى ١٠٠ ألف مرة)، فإنه يستطيع أداء عمليات أسرع بألف مرة من معظم أجهزة الكمبيوتر الحالية. لقد قرر البيولوجيون أن خلايا دماغ النحلة والتي تدعى Vum mx1 تمتلك وصلات يمكن تحريضها، عندما تصادف النحلة رائحة أو سكرا. وبعد تجوالها بين النباتات الزهرية، تمتلك النحلة ذاكرة تربط بين رائحة الزهرة والمكافأة: الرحيق، وبهذه الطريقة تتعلم النحلة أن تقرر نوع الأزهار التي تعطي مردودا أعظم. لقد تمكن تيري سيجنوفسكي بنجاح من تصنيع شبكة عصبية قامت بالوظيفة ذاتها، التي قام بها مخ النحلة. ولقد وجد بالفعل أن تفضيلات نحلته الصناعية في حقل من الزهور مماثلة تماما لتفضيلات نحلات حقيقية.

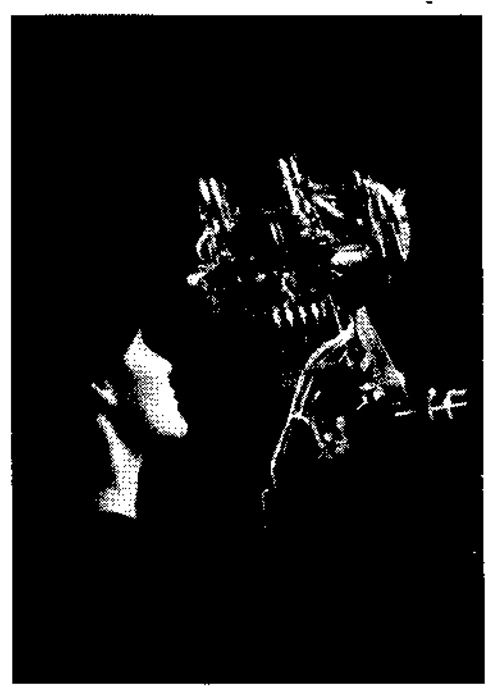
الإنسان الآلي «كوج» Cog

بدأ رودني بروكس من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا ـ الذي صادفناه مسبقا ـ في هذا الفصل بحشرته الصناعية آتيلا، ببناء آلته الأولى الشبيهة

بالإنسان، وهو إنسان آلي يدعى كوج، يشبه الإنسان إلى حد ما. ومن الوهلة الأولى فإن كوج يشبه بعض أجهزة الإنسان الآلي، التي تظهر في أفلام الخيال العلمي مثل: الإنسان الآلي القاتل، الذي قام بأداء دوره أرنولد شوارزينجر في فيلم المهلك (بعد أن يحترق جلده الخارجي قرب نهاية الفيلم). ومن دون جلده يمكن للمرء أن يرى أجزاء كوج الميكانيكية بالكامل، فلديه محركات صغيرة بدلا من العضلات وقضبان معدنية بدلا من العظام وآلات ڤيديوية بدلا من العيون. ولديه ذراع طويلة بملقط كبير في نهايتها، يمكنه بواسطته أن يتفاعل مع بيئته. وليس لكوج أقدام برغم أن طوله يقارب ٤ أقدام، ويعترف بروكس بأنه «كسيح». وعلى الرغم من أنه من دون ساقين، فإنه ينفذ معظم الحركات الفيزيائية لجذع ورأس وذراعي البشر. وعندما يُشغَّل كوج في الصباح فإنه يحرك رأسه وذراعيه حوله كما لو أنه يتثاءب (وفي الحقيقة فإنه يحدد موقع رأسه وذراعيه فقط). إن «الدماغ» الذي يدير كوج عبارة عن ثماني معالجات ميكروية ٦٨٣٣٢ من نوع موتورولا ب ٣٢ بت و١٦ ميجاهرتز معدلة، بحيث تشكل شبكة عصبية منمطة على غرار الطريقة التي ترتبط بها الخلايا العصبية في دماغنا. وسيكون لدى كوج في النهاية طاقة عقلية كبيرة، عندما تضاف إلى دوائره معالجات ٢٣٩ الدقيقة. ولأن كوج ليس آلة تورنج بالمعنى المعهود فإنه غير مبرمج، ومثل كل آلات من الأسفل للأعلى، فإن كوج يتعلم بالطريقة ذاتها التي يتعلم بها الطفل: فالأطفال حديثو الولادة هم بمنزلة صفحة بيضاء، بحيث إنهم عند عضهم الأشياء وارتطامهم بها فقط يدركون أن أطرافهم مرتبطة فعلا مع أجسامهم، وعن طريق التعثر يدركون ببطء العالم الثلاثي الأبعاد الذي يواجههم، وبعد ذلك عندما يعي الأطفال الأشياء الموجودة في العالم المحيط بهم، فإنهم يتعلمون من خلال التفاعل مع البشر.

وبالمثل فقد دُرب كوج في المرحلة الأولى ليلتقط الأجسام، التي هي من أولى استجابات الطفل. وبطريقة التجربة والخطأ المضنية يتعلم كوج تحريك ذراعيه، حتى يمكنه أن يمدهما ويلمس الأشياء، وفي النهاية فإنه يتعلم كيف يلتقط الأشياء ويبقيها في يديه. وبهذه الطريقة فإنه يطور «خريطة العالم» الخاصة به، بدلا من أن تبرمج فيه من البداية. ويتفاعل كوج مع الإنسان بالطريقة ذاتها التي يتعلم بها الطفل من أمه، ولذا على كوج أن يتعلم كيف

يمكنه التعرف على إنسان، وعليه أيضا أن يتعلم كيف يلاقي عيون الآخرين (وفي الواقع صممت عينا كوج بحيث يتمكن البشر بسهولة من الالتقاء بهما)، وبواسطة التقاء العيون يمكن «للأم» أن تعلم كوج واجبات تزداد صعوبة. وعلى سبيل المثال، سيتعلم كوج أخيرا بواسطة «الوقوف بالدور»: فبعد أن تقوم الأم بأداء مهمة ما تنظر في عيني كوج، بحيث يعرف أن دوره قد حان، وبعد أن يقوم بالعمل ينظر في عيني أمه. ويتكرر هذا التبادل في تلاقي الأعين حتى يتعلم كوج المهمة. وإلى الآن لايزال كوج في مرحلة التجريب، ولم يمتلك حتى الآن قدرات طفل في الثانية من عمره.



«كوج» يتعلم بالطريقة ذاتها التي يتعلم بها الطفل: فبدلا من تلقي المعلومات مغذاة في دماغه، يتعلم من خلال التفاعل مع بيئته وأمه.

ومن حيث التصميم والفكرة، فإن كوج هو النقيض تماما من (سيك) دوجلاس لينات. وبينما يمثل كوج الأوج في أجهزة الإنسان الآلي المبنية على فكرة من الأسفل للأعلى، فإن سيك هو الغاية في آلات التمييز أو الإدراك

السليم المبرمجة، ذات التوجه من الأعلى للأسفل (وهناك أيضا بعض التنافس الودي بين هذين الاتجاهين المتضادين، لقد لعب بروكس بفكرة تسمية كوج بسايكي «والتي لها لفظ سيك ذاته» كي ينال من لينات).

ومن المحتمل أن أجهزة الإنسان الآلي مثل كوج، وبرامج التمييز لمدرسة من الأعلى لأسفل مثل سيك، ستكون ذات صفة تجريبية حتى منتصف القرن الحادي والعشرين. وفي النهاية سيحصل اندماج بين مدرستي من الأسفل للأعلى ومن الأعلى للأسفل ربما خلال ٤٠ عاما قبل الوصول إلى إنسان آلي حقيقي حر التفكير.

وقد تحدث هذه العملية بحسب هانز مورافيك على مراحل: فمن عام ٢٠٢٠ وحتى عام ٢٠٣٠ ستبدع أجهزة الروبوت في مجال التخيل، أي أنها ستكون قادرة على تمثل مهمة ما في عقلها قبل أن تنفذها، وسيكون بإمكان هذه الأجهزة أن تحاكي العالم وأن تتوقع عواقب تصرفاتها. وسيكون الإنسان الآلي قادرا قبل طهو وجبة طعام أو عبور شارع، على سبيل المثال، على تمثل الاحتمالات المستقبلية في رأسه عدة مرات قبل أن يتصرف. ولتحقيق هذا التخيل على الإنسان الآلي أن يجمع بين نقاط القوة في اتجاه الأسفل للأعلى، والذي ينجح في التفاعل مع العالم الواقعي، وبين مدرسة من الأعلى للأسفل، التي تنجح في إنشاء نماذج مجردة للعالم. وبحلول ذلك الوقت من المفترض أن تمتلك أجهزة الإنسان الآلي ذكاء القردة.

وقد يحدث بين عام ٢٠٣٠ و٢٠٤٠ تفاعل حقيقي يمثل محصلة المدرستين. وربما أمكن صنع أجهزة إنسان آلي ذات قدرات حقيقية على الاستدلال بحلول ذلك الوقت بحسب مورافيك. وبالمعدل الفلكي الذي تزداد به قوة الكمبيوتر من المفترض أن تتمكن مدرسة من الأعلى للأسفل، أن تصنع إنسانا آليا تتخطى قدرته التفكير البشري بكثير. وسيأتي التوحيد النهائي عندما يتمكن العلماء من الجمع بين هذه القدرة التفكيرية فوق البشرية والقدرة على التجول والعمل في عالم حقيقي أو مُحاكى. وبدمج هاتين الوظيفتين القويتين في نهاية المطاف يعتقد مورافيك «أن هذا الدمج أو الجمع سيخلق كائنا يشبهنا إلى حد ما، ولكنه - من نواحٍ أخرى - لا يشبه أي شيء رآه العالم من قبل».

هل يمكن لأجهزة الإنسان الآلي أن تشعر؟

من المعقول الافتراض أنه قد يكون لدينا بحدود عام ٢٠٥٠ أجهزة إنسان آلي يمكنها أن تتواصل مع البشر بذكاء، وآلات لها عواطف بدائية وقدرة على تمييز الحديث، وتمتلك الحس والذوق السليمين. وبعبارات أخرى سنكون قادرين على الكلام معها، والحصول على محادثات شائقة إلى حد ما. ومن أجل العمل في مجتمع حديث، فمن الضروري أن يكون للإنسان الآلي عواطف ومقدار معين من التمييز، حتى يتمكن البشر من التواصل معه بسهولة. وقد يزيد هذا من درجة «التعلق بالإنسان الآلي».

ومع ذلك يجب أن تكون أجهزة الإنسان الآلي قادرة ـ على الأقل ـ على فهم عواطف رؤسائها وزبائنها والتعامل معها، وعلى الخادم الميكانيكي أن يكون قادرا على انتقاء الزوار المزعجين من بين زبائن المالك، وأن يرفض مطالبهم بأدب أو أن يختلق كذبات بيضاء. ويجب أن تكون السكرتيرات الآليات قادرات على التمييز بين المواعيد الضرورية وغير الضرورية. كما يفترض أن يكون الخدم الميكانيكيون قادرين على تحديد متى يتصرف رؤساؤهم بشكل غير عقلاني، أو متى ينفعلون من موقف محدد. ولا يفترض أن تتوقع هذه الأجهزة الحالات الشاذة من سادتها فحسب، ولكن عليها أن تجري أيضا أحكاما قيمية حول تحديد الأفضل بالنسبة لها.

ويتعارض هذا بالطبع مع الصورة النموذجية للإنسان الآلي في أفلام هوليوود، والذي يتميز بصوته المسطح ذي الوتيرة الواحدة، وعدم إحساسه ببهجة الحب الأول أو بجمال شمس الغروب البراقة، أو الدهشة عند التحديق في السماء اللامتناهية. فالإنسان الآلي بالنسبة للبعض عبارة عن كتلة صماء من الأسلاك والفولاذ، والعواطف هي ما يميزنا عن المخلوقات المعدنية، وهذا هو السبب في «أن الرجل الصفيح» ينقصه القلب. ومع أنه من الصعب إعادة إنتاج العواطف في أجهزة الإنسان الآلي، فإنه من المستحيل من وجهة نظر الذكاء الاصطناعي فعل ذلك. إن أحد الأهداف لعواطفنا من وجهة نظر التطور، هو زيادة احتمالات بقائنا عن طريق استعدادنا للتصرف. ولقد أُجري ذلك عن طريق تركيز بعض أشكال التصرف وعن طريق المراقبة، ومن أساليب التركيز ـ على سبيل المثال ـ انفعال مثل «أفضل... كذا»، وعندما تقول «أنا أفضل التفاح»، فإن

هذه العبارة تضيق العالم غير المحدود من الاحتمالات إلى بضعة خيارات فقط: إنها تركز اهتمامنا على بدائل قليلة مرغوبة تزيد من فرص بقائنا. وليس من المستغرب أن «يفضل» البشر عادة حفنة صغيرة من الأشياء الجيدة لهم، والتي تزيد من فرص بقائهم. وكما قال منسكي مرة «إن وظيفة التفضيل هي استبعاد عدد من البدائل. ويجب أن نفهم هذه الوظيفة لأنها إذا لم تحد فإنها ستضيّق عالمنا». أما «العشق» أو «الحب» فهو أكثر قوة من «التفضيل»، لأنه مهم في تشكيل روابط مزدوجة بين البشر من المحتمل أنها زادت من نجاح تكاثرنا.

ويتصور «مورافيك» تزويد الإنسان الآلي بالقدرة على «عشق» سيده، مما يزيد من نجاحه تجاريا، وقبوله من المالك. ويقول في ذلك «عندما تجلب واحدا إلى بيتك، فإنه سيفهم أنك الشخص الذي وجد هو من أجله، وأن من الأفضل له أن تظل مسرورا، وسيهتم جدا بشعورك بالنسبة لعمله. وسيحاول إسعادك بطريقة تبدو غير أنانية، لأنه سيحصل بدوره على اللذة من هذا الدعم الإيجابي. ويمكنك أن تفسر هذا الشيء على أنه نوع من العشق.

و«الغيرة» هي من أساليب التركيز البشرية الأخرى، لأنها توجه اهتمامنا نحو منافسين محتملين لمن نحبهم. أما «الغضب» فهو مفيد لأنه يحذر آخرين من جنسنا بأننا حقا «لا نحب» شيئا. أما «الخوف» فهو أسلوب في التركيز يحول تصرفنا باتجاه محدد و «نافع». ويمكن برمجة إنسان آلي ليحس بالـ «خوف» بمجرد أن تنخفض شحنة بطاريته، ولا يوجد مكان لشحنها في المحيط القريب. ويقول مورافيك «لا يمكنه أن يدع بطاريته تنفد: إنه سيعبر عن الهياج أو حتى الذعر بإشارات يستطيع البشر التعرف عليها، وسيذهب إلى الجيران ويطلب منهم استخدام مأخذ كهربائهم قائلا لهم أرجوكم ... أتوسل إليكم إنني في حاجة إلى هذا! إنه ضروري جدا، إنها كلفة قليلة وسوف نعوضكم عن ذلك . أما«الضحك» فهو نوع مختلف تماما من التفاعل العاطفي المحبذ تطوريا. فبدلا من أن يركز الضحك انتباهنا على بدائل قليلة، فإنه يعمل كـ «مراقب» يحدد حدود التصرف المقبول. مما يساعد على استبعاد الأعمال المحرمة أو الخطرة. إن بعض النكات البذيئة مضحك، لأن السطر المضحك فيها يدهشنا بنتائجه، التي تدخل في إطار الممنوعات، فالضحك هو الآلية التي تحاول وضع مثل هذه المحرمات داخل أشكال «تخضع للمراقبة» ومعروفة من التصرف. فالجنس على سبيل المثال حيوي جدا لبقاء الأنواع، ولكن نظرا لأن المجتمع وضع عددا من

القيود والمحرمات للسيطرة على الانفعالات الجنسية المتقلبة وتنظيمها، فإن هناك الكثير من أشكال ممارسة النشاط الجنسي تحت المراقبة، يتعين أن يتعلمها كل شخص على مدى سنوات عدة. وهذا هو السبب في أن المراهقين السذج هم من بين أكثر الناس اهتماما بسماع النكات البذيئة. وما إن ندمج الشكل المحرم من السلوك في مجمل أنشطتنا التي تخضع للمراقبة، فإننا لن ندهش مرة أخرى بمغزى النكتة. وهذا هو السبب في أن النكتة لا تكون مضحكة عندما تُلقى مرة أخرى.

وحتى «المرح» له وظيفة تطورية مهمة، ويلاحظ أي شخص راقب الأطفال الصغار وهم يلعبون أنهم يقلدون تفاعلات اجتماعية معقدة للكبار: فقواعد مجتمع البالغين حول التصرف المقبول معقدة. وقد طورت خلال آلاف السنين ألعاب تتناول ناحية صغيرة من نواحي المجتمع وتجعلها مهضومة للأطفال. وهذا هو السبب في أنهم يلعبون «الشرطة واللصوص» و«الطبيب» و«المعلم»... وغيرها. ونحن بالطبع لا ندرك كل هذا. ولقد سألت مرة طفلة لماذا كانت تشعر بـ «المرح» وهي تلعب لعبة «المعلمة»، مقترحا أن هذا ربما ساعد في شرح عملية التعلم المعقدة في المدرسة، لكنها حدقت بي كما لو كنت من كوكب المريخ وأجابت بثقة «المرح هو المرح، إنني أتمتع لأن ذلك ممتع». لقد بدت مسرورة من نفسها كما لو أنها أعطتني لتوها التفسير المحدد للمرح.

إن برمجة الإنسان الآلي بحيث يمتلك عواطف أمر صعب، ولكنه ليس مستحيلا. كيف يمكن أن يتم ذلك ؟ يمكن للعلماء أن يحددوا «أوزانا» أو أرقاما لبعض التصرفات. وعندما يواجه الإنسان الآلي الخطر، عليه أن يعين رقما سالبا للموقف وأن يتجنب هذا الخطر نتيجة لذلك. وعندما يواجه بديلا سارا (مصادر كافية من الطاقة مثلا)، فسيعطيه رقما موجبا وبالتالي سيتابعه. ويجب بعد ذلك برمجة رد الفعل (كما هي الحال بالنسبة للبشر)؛ فعضلات الوجه تتكمش للضحك، والسيقان تتحرك للفرار، والأذرع تتجهز للقتال، والحواجب ترتفع للدهشة، وتنخفض للغضب.

لقد اكتشف علماء الإنسانيات لدى دراستهم للحالات العاطفية الممكنة للرئيسيات، أنها أيضا تستخدم إشارات معقدة وتعابير الوجه وحركات اليد لتعبر عن مشاعرها. وعلى سبيل المثال، زرت مرة متحفا علميا لديه نموذج متطور جدا لرأس غوريلا استخدم في أ فلام هوليوود الحديثة. وبإدارة بعض

العتلات استطعت أن أحرك عضلات محددة في الوجه، يمكن لها أن تثير تعابير للوجه مميزة ترتبط بالدهشة والغضب والسعادة. وبتحريك العتلات قفز وجه الغوريلا إلى الحياة كما لو كان مخلوقا حيا يتنفس ويعبر عن مشاعر أصيلة. وصرخ الأطفال الذين كانوا يتجمعون حولي من الفرح، عندما جعلت الغوريلا يضحك ويقهقه ويبدو سعيدا، ثم جعلت الغوريلا يبدو فجأة يبدو قاتلا من الغضب بأسنانه المكشوفة وعيونه الضيقة، وفتحات أنفه الملتهبة. وقد صرخ الأطفال كلهم بشكل غرزي وهربوا خائفين.

لقد ذهلت من سهولة إثارة عواطف حقيقية من قطعة من المطاط أو البلاستيك الصناعي أو الأسلاك، وأنه يمكنك بأبسط حركة لبعض عضلات الوجه أن تولّد الذعر في الآخرين. إن لدينا سيطرة محدودة على عواطفنا، لأن التطور قد وصلها وصلا عميقا بنظام الدماغ الحوفي. فنحن نستجيب بلا وعي ومن دون تفكير للعواطف. وقد يكون عمر اللغة بضع مئات الآلاف من السنين، فقط، ولكن لغة الجسم، وعلى الأخص تعابير الوجه، تعود إلى ما قبل ظهور الرئيسيات. لقد كانت تعابير الوجه أحد نماذج الاتصال المسيطرة لعدة ملايين من السنين قبل أن تتمكن حبالنا الصوتية من التعبير اللغوي. إن خلق تعابير الوجه التي هي المظهر الخارجي للعواطف في الإنسان الآلي، لن يكون صعبا جدا. ويمكن للمرء أن يحاجج بأن أجهزة الإنسان الآلي، التي تمتلك تعابير للوجه متطورة لا «تشعر» بحقيقة العاطفة التي تعرضها ولا «تفهمها». فعواطفها فارغة، ولذا فهل يمكن لهذه الأجهزة أن تكون «واعية» لوجودها؟

ما بعد ٢٠٥٠: الوعي لدى أجهزة الإنسان الآلي

من المتوقع أن تمتلك أنظمة الذكاء الاصطناعي بحلول عام ٢٠٥٠ مجالا متواضعا من العواطف. وستحاكي الأنظمة الذكية المنتشرة حقا كثيرا من الأشياء حولنا، وستشاركنا بعض عواطفنا. وبحلول ذلك الوقت تكون الإنترنت قد تطورت إلى مرآة سحرية فعلية، لا تستطيع الوصول إلى قاعدة بيانات المعرفة البشرية بكاملها فحسب، بل تستطيع أيضا أن تمازحنا وتثرثر معنا (لقد كتب بعض خبراء الذكاء الاصطناعي أن هذا سيؤدي - بصورة غير مقصودة - إلى عودة الاهتمام بالسحر والخرافة.

وبالنسبة لكثيرين فإن عالما تسكن فيه أنظمة ذكية قد يبدو عالما مسكونا بأرواح سرية، كما كان يظن في العصور الوسطى).

ولكن تثار الأسئلة التالية: هل «تدرك» أجهزة الإنسان الآلي ما هي؟ هل تستطيع أن تحدد أهدافها وخططها؟ هل هي «واعية»؟ إن مثل هذه التنبؤات هي بالطبع مثار للجدل، لأن أحدا لم يقدم إلى الآن تحديدا موجبا لماهية «الوعي»، وبالفعل يبدو كما لو أن لكل شخص تعريفه الخاص لـ «الوعي».

لقد عرّف اللاهوتيون المسيحيون «الروح» أحيانا على أنها شيء مستقل عن العالم المادي تبقى حتى بعد الموت. إن اللاهوت المسيحي بنظامه المفصَّل للثواب والعقاب، ووعوده بحياة بعد الموت مبني على فصل الروح عن الجسد. ولقد رفع الفلاسفة الشرقيون «العقل» إلى حالة من الإدراك الروحي، وهنا على سبيل المثال قصة ثلاثة رهبان من طائفة الزن Zen ينظرون إلى لافتة تطير فوق معبد.

يقول الراهب الأول «إن اللافتة تتحرك».

ويقول الراهب الثاني «لا، إنها الريح التي تتحرك».

وأخيرا يقول الراهب الثالث «إنه العقل الذي يتحرك».

فالأديان الشرقية بعبارة أخرى، لا تحاول أن تفصل الجسم عن العقل، ولكنها ترفع من الوحدة والتناغم بينهما، لتحقيق حالة أعلى من الوعي في العالم المادي. ولكن العديد من العلماء الذين كرّسوا حياتهم لبناء آلات تفكر، يشعرون أنها مسألة وقت فقط، قبل أن يُلْتَقط شكل من أشكال الوعي في المعمل. ويسلّم العلماء، في مجتمع الذكاء الاصطناعي، بأن الآلات المفكرة موجودة مسبقا، وهي تدعى «الكائنات البشرية». ويعتقد بعضهم أن الشبكات العصبية قد أنتجت وعيا، ويشيرون إلى دماغ الإنسان كمثال رئيسي على ذلك. ويعتقد معظم الناس الذين يعملون في مجال الشبكات العصبية أن الوعي ظاهرة «ناشئة»، أي أنها تحدث بشكل طبيعي عندما يصبح نظام ما معقدا بما يكفي لذلك. وبعبارة أخرى، فإن الكل لم يعد مجرد مجموع أجزائه. ولكن القول بأن الوعي شيء ناجم عن التعقيد يستدعي التساؤل. فحتى أكثر المدافعين حماسة عن نظرية «النشوء»، هذه، يعترفون بأن النظرية تقول كل شيء ولا تقول شيئا. إنها مجرد مفهوم ضخم وشامل، بحيث إنها ذات فائدة قليلة في توجيه مجالات معينة من البحث، أو توليد أفكار جديدة، أو فتح دروب حديثة من الاختبار. إن نظرية «نشوء الوعي» هي قضية اعتقاد أكثر منها إستراتيجية للنجاح.

وهناك أيضا العلماء الذين يدَّعون أن مسألة الوعي قد حلت. وقد كتب الفيلسوف دانييل دينيت من جامعة توفت Tufts كتابا بعنوان «تفسير الوعي» ربما جاء قبل أوانه. وبالنسبة لهربرت سيمون الذي حاز جائزة نوبل في الاقتصاد والخبير أيضا في مجال الذكاء الاصطناعي، فإن التفكير هو أكثر بقليل من القواعد التي يضعها مبرمجو الكمبيوتر داخل أجهزة الإنسان الآلي. «هل التفكير البشري مجرد تعلم بالتجربة والخطأ؟» يجيب سيمون «نعم إنه كذلك».

وبالنسبة لمارفين منسكي فإن سر الوعي «تافه»، لأنه يشعر بأنه حل هذا السر. ففي كتابه «مجتمع العقل» يقول بأن العقل مبني على التفاعلات بين أجزاء عديدة أصغر، وكل منها بلا عقل في حدا ذاته. وضمن هذا الإطار لا يوجد «مكان للوعي»، كما اعتقد البعض من قبل، فلا يوجد «إنسان صغير» مخبأ في مكان ما من الدماغ، حيث يتم كل النشاط الواعي. إن الوعي ينشأ ببساطة عن التفاعلات المعقدة لعدد من الأنظمة غير الواعية. ويضيف منسكي «لدى فرويد أفضل النظريات حتى الآن، وذلك بعد نظريتي» ولكنه يعترف «بحسب معلوماتي لم يقرأ أحد الكتاب».

ويبدو أن فحص المخ الحي بالأشعة المقطعية باستخدام البوزيترون PET scan يؤيد رأي منفسكي، فعن طريق تقفي الومضات المتوهجة من الضوء ضمن الدماغ التي تتعلق باستهلاك الجلوكوز وإصدار الطاقة، رأى العلماء أن الوعي شيء زائل منتشر فوق بنى كثيرة ضمن الدماغ. ويبدو الوعي أكثر فأكثر كرقصة تتم بين أجزاء مختلفة متنافسة من الدماغ، ولكنها من دون قائد جوقة يدير العملية بأكملها. وبكل هذه الأفكار والإحساسات التي تمر عبر دماغنا، لا يبقى لدينا سوى وهم بأن هناك «مكانا» يقيم فيه وعينا وروحنا. ويعتقد آخرون أن الأجزاء المختلفة من الدماغ تولِّد في وقت واحد «أفكارا» مختلفة تتنافس مع بعضها البعض، لجذب اهتمام الدماغ. ولا (تنتصر) في هذا التنافس إلا فكرة واحدة. فالوعي بهذا المعنى ليس مستمرا، ولكنه مجرد تتابع الأفكار التي ربحت المنافسة.

وفي الطرف المقابل، هناك بعض الفلاسفة الذين يدعون بأن أجهزة الإنسان الآلي، لن تصبح واعية إطلاقا، ويطلق على بعضهم اسم «أصحاب نظرية الأسرار الخفية الجدد» مثل «كولين ماجين» من جامعة روتجر

Rutgors، وهم يرون أن الوعي لن يتمكن أحد من تفسيره في أي وقت، ويرى ماجين أن هؤلاء الناس كسالى، في حين أنهم لا يمتلكون الأدوات المفاهيمية اللازمة لذلك. ويستخدم روجر بنروز عالم النسبية الشهير من جامعة أكسفورد حججا فلسفية مأخوذة من نظرية الكم، ليعزز حجته ضد إمكان خلق وعي في الآلات.

إن المشكلة في هذه الانتقادات هي أن محاولة البرهان على أن الآلات لا يمكنها إطلاقا أن تصبح واعية، هي مثل محاولة البرهان على عدم وجود حيوانات خرافية. فمن المتعذر تركها لذوق كل شخص. وحتى إذا استطاع المرء أن يبرهن على عدم وجود الحيوانات الخرافية في معظم أنحاء العالم، فإن هناك دائما إمكانا للعثور على واحد منها في مناطق غير مكتشفة أو متوقعة. ولذا يبدو لي أن القول بعدم إمكان بناء آلات مفكِّرة للأبد قول فارغ من أي مضمون علمي.

وفي النهاية لن تحل مسألة قدرة الآلات على التفكير إلا عندما يبني أحدهم آلة مفكرة. وحتى ذلك الوقت فإن السؤال سيظل من دون إجابة. ولقد اتضحت هذه المعضلة أخيرا عندما التقى الدالاي لاما مع العلماء في أكاديمية نيويورك للعلوم، من أجل استكشاف الصلة بين العلم والدين. وقد سئل فيما إذا كان على اطلاع على العمل في ميدان الذكاء الاصطناعي. وعندما رد بالإيجاب، سئل فيما إذا كان الكائن المصطنع بمنزلة كائن حلت فيه حياة. وعندما أدرك أنه قد خدع انفجر ضاحكا وقال «عندما تمتلكون مثل هذه الآلة وتضعونها أمامي، يمكننا أن نناقش الموضوع مرة أخرى». ويتذكر الفيزيائي هاينز بيجلز المحادثة ويقول «بعبارة أخرى لقد كانت المسألة هي مسألة اصنع أو أغلق فمك. ولقد كنت مسرورا بشكل خفي، لأنه شاركني وجهة نظري في البنائية البحتة. عليك أن تصمم وتبني لا أن تتكلم عن خيالاتك الفلسفية». وبعبارة أخرى فإن الطريقة الوحيدة لحل هذه المسألة هي في بناء الآلة.

ويقرُّ العديد من نقاد الذكاء الاصطناعي من أمثال جون سيرل بأن أجهزة الإنسان الآلي قد تحاكي - بنجاح - التفكير في يوم ما، ولكنها مع ذلك ستظل غير مدركة لما تفكر به. وقد تظهر هذه الآلات عواطف، ولكنها لن «تحس» بها فعلا، تماما كما أن قرصا مدمجا لبيل كوسبي يلقي نكتة ولكنه لا يفهم ما المضحك فيها. وبالنسبة لسيرل، لا يمكن لهذه الأجهزة أن تكون واعية تماما، كما لا يمكن لعواصف افتراضية أن تبلل أحدا. ولكن وكما أكد تورنج قبل عقود، فإن

من الممكن إعطاء تعريف عملي للذكاء دون فتح صندوف تورنج. وبالمقارنة إذا عمل إنسان آلي بطريقة لا يمكن تمييزها عن عمل كائن واعٍ، فهو من كل النواحي كائن واعٍ، وما يحدث داخل دماغ الإنسان الآلي غير مهم كثيرا.

وربما كانت هناك درجات عدة من الوعي. وفي العقود القادمة سيكون في مقدور علماء الذكاء الصناعي، بالتأكيد، أن يضعوا ببطء وعناد نسخا أكثر تطورا من الآلات «الواعية». وربما ستتطور هذه المستويات من الوعي، بالطريقة ذاتها تقريبا التي أنتج فيها التطور الطبيعي كائنات حساسة على سطح الأرض، على مدى بلايين السنين. وعلى الرغم من وجود فجوات رئيسية في مملكة الحيوان، فربما كان هناك استمرار تقريبي من الوعي، بدءا من الكائنات الحية البسيطة ذات الخلية الواحدة، مرورا بالأشكال الأكثر تعقيدا بما في ذلك البشر. وبما أن البشر تطوروا من أشكال أقل تعقيدا، فمن المعقول الاستنتاج بأن هناك مستويات عدة من الوعي. وعلى نقيض قصص الخيال العلمي، حيث «يستفيق» الإنسان الآلي فجأة ليصبح واعيا، فقد يصنع العلماء - خلال العقود القليلة القادمة - أجهزة إنسان آلي بمستويات متزايدة من الوعي.

درجات الوعي

يتمثل المستوى الأدنى من الوعي في قدرة الكائن الحي على التحكم بجسمه ومحيطه. وبحسب هذا التعريف فإن ضابط الحرارة البسيط «الترموستات» يمتلك بعض «الوعي»، لأنه يتحكم بدرجة حرارة محيطه. وتقع أجهزة الكمبيوتر التي تقوم بتشخيص ذاتي، والتي تطبع رسائل الخطأ ضمن هذا التصنيف أيضا. وفي مرحلة أعلى عند المستوى ذاته من الوعي توجد النباتات، وحتى من دون نظم الأجهزة العصبية عليها أن تشعر بالتغيرات العديدة في البيئة، وأن تتفاعل معها بطرق متطورة. و تقع الآلات المزودة برؤية في هذا المستوى لأنها مبرمجة لإدراك أنماط مختلفة في بيئتها المباشرة. وتعمل الحيوانات وهي راقدة على هذا المستوى من الوعي أيضا. وحتى في حالة الاسترخاء تمسح الحيوانات البيئة بشكل مستمر، وتميّز أنماطا معينة من الخطر والغذاء و الأزواج وغير ذلك.

وعلى المستوى الثاني هناك القدرة على إنجاز أهداف محددة مثل: القدرة على البقاء والتناسل. وتقع مسابر المريخ المستقبلية المخططة للقرن الحادي والعشرين ضمن هذا التصنيف، لأنها ستكون متحركة و قادرة على استكشاف منطقة غير معروفة، واكتشاف الخطر و البحث عن تشكيلات مثيرة للاهتمام، ويتم ذلك كله من دون تحكم الإنسان. وفي أعلى هذا المستوى تقع مملكة الحيوانات بكاملها. وبمجرد تحديد الأهداف الرئيسية (مثل إيجاد الغذاء والأزواج)، أو برمجتها في عقل الحيوان، فإنها تقرر الخطط المعقدة التي يجب عليها أن تقوم بها لتحقيق هذه الأهداف. وهي تعني بالنسبة للثعالب تخطيط كيف تصطاد الأرانب، أما بالنسبة للأرانب فهي تعني التخطيط لتجنب الثعالب. ولا تمتلك هذه الحيوانات إلا فهما أو وعيا محدودا فقط بماذا تفعل عندما تصطاد أو تهرب، فمعظم تصرفاتها مرتبط بشدة بأدمغتها.

(تذكر أن هذا المستوى من الوعي ربما كان المستوى المسيطر على معظم نشاط الإنسان، فمعظمنا لا يصرف مقدارا كبيرا من الوقت في توجيه أسئلة فلسفية حول الوعي بالذات، والتفكير في إشكالات معنى الوجود. وعلى الرغم من أننا نتردد في الاعتراف بذلك، فإننا ننفق معظم وقتنا ونحن نفكر في البقاء على قيد الحياة، والتكاثر بصورة مشابهة جدا للحيوانات. وعندما لا نفكر في البقاء والإنجاب نفكر عادة في التسلية واللهو. ولذا يجب علينا ألا نغالي حول الطبيعة السرية والأسطورية للوعي البشري). وكلما ارتقى الهدف وبالتالي الخطط اللازمة لتحقيقه، ارتفع مستوى الوعي. وبعبارة أخرى قد توجد هناك آلاف من الأنواع الفرعية من الوعي ضمن هذا المجال العريض بحسب تعقيد الخطط، التي يمكن للإنسان الآلي أن يولدها لمتابعة هدف محدد جيدا.

إن أكلة اللحوم مثل الثعالب، على سبيل المثال، ربما كانت أكثر (ذكاء) من الحيوانات المطاردة؛ فعلى الثعالب أن تصمم إستراتيجيات صيد معقدة للإمساك بالأرانب، وعليها أن تتعلم كيف تصطاد بسرية، وكيف تنصب كمينا، وكيف تخدع الطريدة، وعليها أيضا أن تتعلم تصرف الأرانب، ولذا من المحتمل أن للثعالب مهارات عقلية أكثر تطورا من الأرانب، التي تنحصر إستراتيجيتها الأساسية في الهرب. وقد يمتد الوقت حتى منتصف القرن الحادي والعشرين، قبل أن تكون لدينا أجهزة إنسان آلي تمتلك المستوى من الوعي الموازي للكلاب مثلا، والتي تستطيع ابتكار إستراتيجيات ذكية للصيد.

أما المستوى الثالث والأعلى للوعي، فهو قدرة الكائن على وضع هدفه بنفسه. وأجهزة الإنسان الآلي القادرة على العمل عند هذا المستوى، لابد أن تتمتع «بإدراك ذاتي». ويعتقد بعض العلماء أنه سيكون لدينا نوع من أجهزة الإنسان الآلي، تستطيع تحديد أهدافها بدلا من أن تكون هذه الأهداف مقررة سلفا، وذلك في وقت ما بعد عام ٢٠٥٠، ولكن مثل هذه القدرة تستدعي الأسئلة التالية: ماذا يحدث عندما لا تتطابق أهداف آلاتنا مع أهدافنا؟ ماذا يحدث عندما تتفوق هذه الأجهزة فيزيائيا وعقليا علينا؟ هذه الأسئلة حساسة وسوف أعالجها في الفصل السادس.

وعلى الرغم من أن التعرف على الأنماط والحس العام هي أبعد من متناول أجهزة الكمبيوتر الحالية، فإننا نستطيع الآن رؤية الملامح الغامضة لحلٍ بدأ يظهر من جبهتين: التزايد المستمر لقدرة الشبكات العصبية، وأجهزة الكمبيوتر التقليدية. وقد يتمكن مزيج من اتجاه من الأعلى للأسفل ومن الأسفل للأعلى يوما ما من حل هذه المسائل. ومن الممكن لتوجه من الأعلى إلى الأسفل ومن الأسفل إلى الأعلى أن يلتقيا في الوسط تقريبا خلال الـ ٤٠ عاما القادمة، أو ما يقارب ذلك، معطيا إيانا أفضل ما في الاتجاهين، وهي آلة يمكنها أن تتعلم من خلال التعامل مع بيئتها، وتمتلك أيضا المعرفة الجيدة لمهندس مهني أو كيميائي أو طبيب أو محام. وفي وقت ما بعد عام ٢٠٥٠، من المحتمل أن ندخل الطور الخامس من أجهزة الكمبيوتر، عندما نرى الآلات الواعية والمدركة لذاتها.

إن العقبة المحتملة أمام هذا الحلم هي الحاجز الذي سيصدم مصنعي شرائح الكمبيوتر، عندما يصلون إلى الحدود الفيزيائية القصوى لتكنولوجيا السيليكون. وقبل أن نتمكن من البدء بمنافسة القدرة الحاسوبية للدماغ البشري وذاكرته، على العلماء أن يكتشفوا بنية جديدة للكمبيوتر. وهو بحث دفع الفيزيائيين وعلماء الكمبيوتر والمهندسين إلى التنافس من أجل إيجاد الحلول.



5

ما بعد السيليكون

السايبورج(*) والكمبيوتر النهائي

«كل شيء إلى زوال»

جورج هاريسون

لقد قهر الإسكندر الأكبر معظم العالم المعروف عندما كان في سن الخامسة والعشرين، منظّما مجموعة من المستوطنات اليونانية المنعزلة، وحصل من خلال حملات عسكرية قوية على إمبراطورية. وقبل معركته العظمى زار عرّاف آمون الشهير الذي تنبأ بأنه سيقهر العالم، وسيحصل على قدرة فائقة، ولكنه مات في سن الثالثة والثلاثين، ولم تبق إمبراطوريته لفترة طويلة بعده، فقد تمزقت إلى وحدات إثر تنازع القواد فيما بينهم. وقهرت الشريحة الدقيقة عصر المعلومات خلال ٢٥ عاما، ضاغطة قدرة الكمبيوترات الضخمة، وميسرة وضعها على مكاتب الناس جميعا، وخلال بضعة عقود ستصبح المحرك الجديد الذي يدفع الصناعة والأعمال والعلم والتكنولوجيا مولّدة صناعة

(*) «السايبورج»: Cyborg كائن حي افتراضي معدل للحياة في بيئة معادية أو غير ملائمة، عن طريق استبدال بعض أعضائه بأعضاء صناعية، واللفظ صاغه عالم الفضاء ما نفريد كلاينز من الكلمتين Cybernetict organism، وتعني حرفيا كائن حي مهجن من الآلة والأعضاء الحية (المراجع).

مغرية لأشباه الموصلات، تقدر بـ ١٥٠ بليون دولار تنتج حوالى ١٧٠ مليون معالج دقيق كل عام.

إن السؤال الذي يدور في خلد الفيزيائيين والمهندسين هو عما إذا كانت إمبراطورية الكمبيوتر التي خلقتها الشريحة الدقيقة ستبقى بعد اندثار هذه الشريحة. ومثل إمبراطورية الإسكندر الأكبر العظيمة، ولكن القصيرة الأجل، فإن صناعة الشريحة الدقيقة قد تنهار في نهاية المطاف، وتتقلص إلى مشاحنة بين تصاميم متنافسة، تتصارع من أجل دفع طاقة المعالجة في الكمبيوتر إلى الأمام. إن القواعد الصارمة لفيزياء الكم واضحة: فمبدأ قانون مور الذي تنبأ بنمو صناعة المعالج الدقيق بنجاح مثل عراف آمون، لا يمكن أن يستمر لفترة أطول. ومثل الإسكندر الأكبر، فإن الشريحة الدقيقة ستزول أيضا وبسرعة نسبية. إن هذا الإدراك يبعث الرهبة في معظم علماء الكمبيوتر، الذين جمع بعضهم ثروات هائلة بركوبهم موجة الشريحة الدقيقة.

وكما رأينا في الفصل الثاني، فإن الفيزيائيين سيدفعون قريبا حاجز «النقطة واحد» الشهير: فمن غير الممكن تصغير عناصر السيليكون إلى أصغر من ٠,١ ميكرون في الحجم. وعندما نصل إلى هذا الحد العلمي يجب إدخال تكنولوجيا جديدة تماما، من أجل نقش أشباه موصلات أصغر من ذلك على شرائح السيليكون. ويجب صنع عناصر صغيرة جدا بحجم لولب جزيء الـ «د. ن. أ» على الشريحة الدقيقة. وعاجلا أم آجلا، ستصبح عناصر الشريحة الدقيقة صغيرة جدا، بحيث تصل إلى حجم الجزيئات حيث تسيطر قوانين فيزياء الكم الغريبة.

والأبعد من ذلك فإن سرعة الكهرباء ستكون بطيئة جدا لأجهزة كمبيوتر القرن الحادي والعشرين: فأجهزة الكمبيوتر الفائقة مثل Cray T90 يمكنها، منذ فترة، إجراء حسابات بمعدل ٦٠ بليون عملية حسابية في الثانية (٦٠ جيجا فلوب Giga Flop/ثانية). ولقد ذكرت في الفصل السابق أن وكالة الطاقة منحت عام ١٩٩٦ عقدا بـ ٩٣ مليون دولار لشركة أي.بي.ام لبناء أسرع سوبر كمبيوتر في العالم في حدود ١٩٩٨، قادر على إنجاز ٣ تريليونات عملية حسابية بالثانية (٣ تيرا فلوب Terra Flop/ثانية، وبحوالى ٢,٥ تريليون بايت من الذاكرة). وبالمقارنة فمن المعتقد أن أدمغتنا تحسب بشكل روتيني بسرعة ١٠ تيرافلوب Terra Flop أو أسرع، وهي سرعة سيتم

تجاوزها في أوائل القرن الحادي والعشرين بواسطة أجهزة الكمبيوتر الفائقة. ولكن قد يؤدي هذا إلى الاقتراب جدا من الحدود القصوى لأجهزة الكمبيوتر فائقة السرعة؛ ففي حوالى ١/ترليون من الثانية، يمكن للإشارات الكهربائية أن تقطع جزءا بسيطا من المليمتر، وهي مسافة قصيرة جدا، لكي تصل إلى عناصر أخرى في الكمبيوتر. ونستطيع، على أساس قانون مور، أن نجري تنبؤات معقولة حول تطور علم الكمبيوتر وتكنولوجياته خلال عام ٢٠٢٠. وفي هذا الفصل، سأنظر إلى العالم بعد ٢٠٢٠، عندما تكون هناك حاجة إلى بنية جديدة تماما للكمبيوتر.

لقد كتب بعض المستقبليين حول أجهزة الكمبيوتر البصرية، التي تحسب بواسطة أشعة راقصة من ضوء الليزر، والكمبيوترات الجزيئية أيضا، التي تجري حساباتها على الذرات نفسها، ومن الجدير ملاحظته أنه بُنِيت أجهزة كمبيوتر الـ«د. ن. أ»، تستطيع حل مسائل في الرياضيات أسرع من أجهزة الكمبيوتر الفائقة. ويتكلم مستقبليون آخرون عن «الكمبيوتر الكمي»، الذي ربما كان الكمبيوتر النهائي. ولا يزال آخرون يحلمون بيوم بعيد، يسير فيه أناس معدلون يمثلون الاندماج الأقصى بين البشر، ومخلوقاتهم الإلكترونية على سطح الأرض. ويعتقد مارفين منسكي، من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، أن هؤلاء الناس المعدلين قد يمثلون المرحلة التالية من مراحل التطور البشري، وبذلك سنكون قد حققنا خلودا حقيقيا، عن طريق استبدال الفولاذ والسيليكون بالجلد. إن هذا الجدل بين التصاميم المتنافسة ليس جدلا أكاديميا؛ فمستقبل صناعة بعدة بلايين من الدولارات، ووظائف ملايين الناس، والمصير الاقتصادي لأمم بكاملها، والآلات التي تقود مستقبلنا، ستعتمد كلها في النهاية على حسمه إلى البعد الثالث.

وحتى في حدود عام ٢٠٠٥ سيصطدم العلماء بحاجز النقطة واحد. وبسبب المبالغ الضخمة المتعلقة بذلك، فقد استُغلت مجموعة مختلفة من الإجراءات الصغيرة، للحصول على حياة جديدة للشريحة الدقيقة. وربما كانت الطريقة الأبسط لتعديل المعالج الدقيق وتمديد حياته، هي في وضع المعالجات الدقيقة ضمن مكعب، ثم في نقش طبقات من أشباه الموصلات فوق بعضها البعض. ولا تقتصر ميزة هذا التصميم على حشر عدد أكبر من الترانزستورات في حجم صغير، وإنما تصغِّر المسافة التي يجب على الإلكترونيات قطعها. ولكن توجد

هناك مشكلات أيضا في استبدال المكعبات بشرائح، وأهم هذه المشكلات هي كمية الحرارة الضخمة المتولدة عنها، وفي الكمبيوتر الفائق، فإن الحرارة المتولدة من سطح شريحة دقيقة، والتي تقترب من حرارة مقلاة ساخنة، شديدة لدرجة تكفي لصهر الشريحة. ولذا فهناك حاجة إلى أنظمة تبريد معقدة لإزاحة الحرارة الزائدة. وفي شريحة دقيقة عادية تنتشرالحرارة من خلال السطح، ولكن ترتيب الشرائح الدقيقة فوق بعضها، يؤدي إلى تقليل الحرارة المصروفة بشكل كبير، حيث إن مساحة السطح المتاحة للتبريد تصبح أقل من أجل عدد معين من الترانزستورات، (وهذه هي المشكلة الشهيرة حول نسبة السطح إلى الحجم، فإذا ضاعفنا حجم شريحة دقيقة بـ ٣ أبعاد، فإن الحرارة المتولدة تتناسب مع الحجم الذي يزداد بعامل ٨ أمثال. ولكن القدرة على تبريد الشريحة تتناسب مع مساحة سطحها، التي تزداد بعامل أربعة أمثال فقط. ولذا، فإن تبريد شريحة بـ ٣ أبعاد أصعب بمرتين إذا ضاعفنا حجمها). وتتولد الحرارة من هذه الشرائح الدقيقة نتيجة المقاومة الكهربائية للعناصر المؤلفة منها. وفي أجهزة الكمبيوتر الفائقة، يمكن حل مشكلة التسخين هذه جزئيا، عن طريق تبريد العناصر بالنتروجين السائل أو بالهليوم، ولكنها طرق مكلفة، وتحتاج إلى أنظمة تبريد معقدة.

وإذا أصبحت الحرارة المتولدة من معالجات دقيقة مكعبة شديدة، مما يتطلب استخدام أنظمة تبريد متطورة، فمن المحتمل أن تصبح الشرائح سمجة جدا لتستخدم في الكمبيوترات المحمولة (ما لم يستطع العلماء إتقان موصل فائق عند درجة حرارة الغرفة، كما سيناقش في الفصل ١٢)، وسوف ينحصر استخدام مثل هذه المعالجات الدقيقة المكعبة في الكمبيوترات الفائقة، إذا أصبحت مشكلات التسخين قوية جدا.

وبالإضافة إلى المكعبات الصغيرة الثلاثية الأبعاد، هناك حلول أخرى اقترحت، للحصول على حياة جديدة لتكنولوجيا شريحة السيليكون:

● استبدال زرنخيد الجاليوم بالسيليكون مما يجعل الدوائر أسرع بـ ١٠ مرات، لأن بنية شبكته البلورية تعيق الإلكترونات بشكل أقل من السيليكون. وقد يعطي مثل هذا التحول المعالج الدقيق عددا إضافيا من السنين. وقد اقترح علماء آخرون استخدام سيليكون ـ جرمانيوم، بدلا من تكنولوجيا السيليكون العادية.

● استبدال أشعة x التي لها أطوال موجات أصغر بحزم ضوء الليزر (التي تستخدم لنقش العناصر على شرائح السيليكون). ولكن إحدى المشكلات هي أن أشعة x تمتلك طاقة كبيرة: فبحسب قانون بلانك يؤدي انخفاض طول موجة شعاع من الضوء إلى حشد طاقة أكبر فيه. ولكن على نقيض حزم الليزر، فإن أشعة x نفاذة جدا، ومن الصعب التعامل معها، ولا يمكن تركيزها بسهولة. وبعبارات أخرى يمكن لأشعة x أن تشوه شريحة السيليكون، التي يفترض أن تنقش فوقها. ولم تُصنّع إلى الآن شريحة بواسطة أشعة x.

● استخدام حزم من الإلكترونات للنقش على شريحة السيليكون. ولكن على الرغم من أن الأشعة الإلكترونية تستطيع أن تختبر مسافات تزداد صغرا، وهي حقيقة تُستغل كل يوم في المجهر الإلكتروني في مخابر البيولوجيا، فإنها بطيئة. وبينما تستطيع الأشعة الضوئية مسح شرائح كاملة في ومضة، فإن على الأشعة الإلكترونية أن ترسم كل خط بشكل مستقل، وهي عملية تستغرق عدة ساعات، مما يجعلها غير اقتصادية. ومع ذلك يعتقد خبراء الكمبيوتر أن نوعا ما من التكنولوجيا البسيطة من أشعة x / والأشعة إلكترونية، ستتطور حوالى ٢٠٠٥ مما يسمح بمد أجل شرائح السيليكون وصلاحيتها حتى عام ٢٠٢٠. وعلى سبيل المثال تجري شركة آي.بي.ام منذ فترة تجارب على توليد أشعة x من معجل جزيئات (سينكروترون) في مختبراتها في نيويورك.

ولكن، بما أن الأسلاك في الشرائح السيليكونية أصبحت أدق، فستطفو مشكلة أخرى على السطح عند نقطة ما. وبهذه المسافات الصغيرة جدا بين الأسلاك، يمكن للإلكترونات أن تتسرب أو تمر في نفق عبر الحاجز السلكي، مما يؤدي إلى تخريب الدائرة. وهناك حد لتكنولوجيا السيليكون، لا يمكن بسبب قوانين الفيزياء تجاوزه. لقد ولّد هذا الشعور بانهيار قادم، على الرغم من أنه لا يزال بعيدا لسنوات عدة، قلقا لدى خبراء الكمبيوتر. تقول كارين براون، وهي مدير عملية النقش لـ «سيماتيك» ، وهو اتحاد شركات يعمل في مجال البحث العلمي والتطوير في الولايات المتحدة. «لن أقتبس من أي إنسان، ولكنني كنت في اجتماع قال فيه الناس: إننا حين نترك البصريات فسنكون بلا عمل».

ما بعد ٢٠٢٠: أجهزة الكمبيوتر البصرية

تصور ماذا ستكون عليه مدينة نيويورك أو لوس أنجلوس، إذا استطاعت السيارات أن تمر عبر بعضها البعض: إن الازدحام، والعقد ستختفي فورا، وستصبح القيادة خلال ساعات الذروة متعة، بدلا من أن تكون تعذيبا من النوع الذي يليق بالقرون الوسطى. وهذه هي إمكانات أجهزة الكمبيوتر البصرية، حيث يمكن في النهاية للأشعة الضوئية أن تقاطع بعضها بعضا، في مكعب بصري حاملة معلومات رقمية، وسيكون مثل هذه الرسائل البصرية سريعا جدا أيضا، لأنها تنتقل بسرعة الضوء. ولأنها تولّد حرارة أقل، فإن هذا يحل إحدى المشكلات المستمرة بالنسبة للشرائح الدقيقة المكعبة. وفي عام ١٩٩٠ صنع العلماء في مختبرات شركة بيل، حيث اختُرع الترانزستور الأولي، أول نموذج لكمبيوتر بصري. وقد تم التخلص فيه من الأسلاك وأشباه الموصلات لمصلحة استخدام العدسات والمرايا وأشعة الليزر. إن المفتاح لبناء كمبيوتر بصري هو إيجاد المقابل الضوئي لأشباه الموصلات التي تشكل أساس أي كمبيوتر. إن الترانزستور بكل بساطة صمام يتحكم في تدفق الإلكترونات. وقد استطاع العلماء في مخابر شركة بيل، أن يصنعوا ترانزستور بصري يمكنه التحكم في تدفق الضوء، وهو يعمل على مبدأ إرسال الإشارات، المستخدم من قبل الأساطيل عبر العالم، إذ إنه يرسل نبضات من الأشعة الضوئية عن طريق تغطية مصباح قوي، وإزالة الغطاء عنه بسرعة. ويدعى الترانزستور البصري s-seed، وهي اختصار لتعبير (التأثير البصري الإلكتروني المتناظر الذاتي). ويعمل هذا الترانزستور وفق خاصية بسيطة هي: أن الضوء قد يمر عبر مرشح أو لا يمر (عندما يمر جهد كهربائي على s-seed، يصبح المرشح شفافا ويمر شعاع الليزر عبره. ويعادل هذا «1» في الترميز الثنائي. ولكن إذا وجه شعاع ليزري آخر إلى المفتاح، فإن s-seed يصبح غائما، ويغلق الشعاع الليزري الرئيسي. وهذا يعادل «0» في الترميز الثنائي، وبالتالي يمكن توليد رسالة من الآحاد والأصفار على شعاع ليزري، مؤلف من نبضات قصيرة من شعاع الليزر، وذلك بتغيير الجهدالكهربائي لـ «s-seed».

لقد كان الكمبيوتر البصري الأصلي بدائيا بشكل محرج. وفي حين تحتوي الشرائح الدقيقة السيليكونية على ملايين الترانزستورات، منقوشة على شريحة سيليكونية بحجم ظفر الأصبع، فإن الكمبيوتر البصري الأول احتوى على ١٢٨ ترانزستور ضوئيا فقط، على أعلى طاولة بعرض حوالى ٣ أقدام. ولكن على المرء أن يتذكر أن الكمبيوترات الإلكترونية الأولية لجون فون نيومان، كانت تملأ غرفا بكاملها بالأنابيب المفرغة. ويقول جون موسوريس أحدالمصممين في وادي السيليكون «إن هذا العمل مهم جدا، لأن هذه الأجهزة ستصبح في النهاية ترانزستورات القرن الحادي والعشرين».

إن الخطوة التالية في الكمبيوترات البصرية هي الاستغناء عن الأسلاك نهائيا، بحيث تعبر بحرية عبر بعضها في الأبعاد الثلاثة، حاملة ملايين إلى بلايين التعليمات في الثانية. ومن أجل تخزين الكميات الهائلة من البيانات التي ستحمل بواسطة الأشعة الضوئية، يفكر العلماء في استغلال طاقة أكثر عروض أشعة الليزر إدهاشا وهي الصورة المجسّمة Hologram.

الذاكرة المجسّمة Holographic Memory

تعرف المجسمات جيدا بقدرتها الملحوظة على صنع صور واقعية في الأبعاد الثلاثة. وقد تصبح صور التلفزيون في غرف المعيشة يوما ما مجسمة وبثلاثة أبعاد. ولكن الاستخدام المباشر والأكثر أهمية هو في تخزين كميات كبيرة من بيانات الكمبيوتر، ويمكن - على سبيل المثال - لقرص مدمج من النوع العادي، أن يخزن ٦٤٠ مليون بايت من المعلومات (وهذا يكافئ ٣٠٠ ألف صفحة بسطر مضاعف). وقد تصل الأقراص المدمجة ذات المستويات المتعددة، التي تتألف من عدد من الأقراص فوق بعضها البعض، إلى عشرات البلايين من البايتات قبل عام ٢٠٠٠، وهو كاف لتخزين فيلم ٣٥ مم كاملا. ولكن الذاكرة المجسمة تستطيع تخزين مئات البلايين من البايتات والمعلومات. ويعود السبب في ذلك إلى أن طول موجة الضوء قصير جدا. وعندما يجبر شعاعان ليزريان على التداخل مع بعضهما البعض، فإنهما يخلقان دوامات صغيرة في شبكة من خطوط التداخل على مستحلب تصويري. ويمكن تخزين كميات مذهلة من

المعلومات على خطوط التداخل هذه. وفي الحقيقة، فإن كل المعلومات المخزنة حاليا في كل كمبيوترات العالم، قد يمكن يوما ما تخزينها في مكعب مجسم وحيد، وستكون أجهزة الكمبيوتر البصرية ذات الذاكرة المجسمة وريثا مثاليا للسيليكون. فهي أقوى، وأسرع وأسهل تبريدا، ويمكنها أن تخزن كميات غير محدودة تقريبا من المعلومات. ولكن لهذه الأجهزة مساوئها أيضا، ويجب حل مسألة تصغير الحجم قبل أن تصبح الترانزستورات البصرية منافسة لأجهزة الكمبيوتر السيليكونية.

إن المفتاح لاختزال حجم الجيل القادم من أجهزة الكمبيوتر البصرية هو تصنيع ليزرات S-Seed دقيقة حقا، يمكن وضعها بالملايين في حجم مكعب صغير جدا. وهذه التكنولوجيا ليست بعيدة جدا، فعملية النقش المستخدمة في صنع ترانزستورات من السيليكون، يمكن أن تستخدم لصنع S-Seed من زرنخيد الجاليوم، محققة بالتالي سرعات تحويل أكبر بكثير كما سنرى في الفصل الثالث عشر. وإذا طورت تكنولوجيا النقش في النهاية لصنع ليزرات دقيقة، فسيصبح الكمبيوتر البصري مرشحا قويا ليحل محل المعالج الدقيق السيليكوني.

كمبيوتر الـ «د.ن.أ»

إن أحد أهم الاكتشافات الأصيلة غير المتوقعة في السنوات العدة السابقة كمبيوتر الـ «د. ن.أ»، الذي قد يتمكن في النهاية من أن يبرز الأجهزة السيليكونية في حل المشكلات الرياضية المعقدة. ويمثل كمبيوتر الـ «د. ن.أ» القدرة المزدوجة لثورتي البيولوجية الجزيئية والكمبيوتر. وقد بين ليونارد أدلمان من جامعة ثازرن ـ كاليفورنيا، أن بإمكان أنبوب اختبار صغير من الـ «د. ن. أ» أن يحل مسائل قد تخنق كمبيوتر فائقا. إن جزيئات الـ «د. ن. أ» هي المادة المثالية لكمبيوتر جزيئي، فهذه الجزيئات كفوءة وصغيرة الحجم وتشكل مجرد ٣, ٠٪ من حجم النواة في الخلية، ويخزن جزيء الـ «د.ن.أ» معلومات تفوق بمئات التريليونات المعلومات التي تخزن في أجهزة الكمبيوتر المتطورة الحالية. وفي كمبيوتر الـ «د. ن.أ»، فإن عددا ضخما من جزيئات الـ «د. ن. أ» المخزنة في أنبوب اختبار عادي (حوالى ١٠٢٠ جزيئا)، يمكنها أن تقوم جميعا بالحسابات في الوقت نفسه.

وفي حين أن كمبيوترات الشرائح السيليكونية سريعة جدا، فإنها تحسب رقما واحدا في زمن معين، وتولد كثيرا من الحرارة. أما كمبيوترات «د. ن. أ» ـ فعلى الرغم من أنها أبطأ ـ فإنها تستطيع إجراء الحساب ـ في الوقت ذاته ـ على عدد فلكي من الجزيئات، وهي أكثر كفاءة من حيث الطاقة ببلايين المرات. إن التشابه المهم بين الكمبيوترات السيليكونية وكمبيوترات «د. ن. أ» هو أنهما رقميان، فكلاهما يعتمد على المعلومات. وبالنسبة للكمبيوترات، فإن هذه المعلومات مرمزة في شفرة ثنائية، وهي سلسلة من الأصفار والآحاد التي تبدو على هذا الشكل:

0001110010101001001011110101001001

وبالنسبة لـ «د. ن . أ»، فإن الشفرة مكتوبة برموز أربعة وهي A وT وC وG ترمز إلى الأحماض النووية الأربعة، التي يتشكل منها حمض الـ «د. ن. أ». وبالنسبة للعين المجردة، فإن رمز الـ «د.ن.أ» لكائن بشري إذا كتب، سيتألف من ٣ بلايين حرف، تظهر على شكل خط متصل من حروف من دون معنى ATTTCCCCSAATCGGTTCT. ولأن رمز الـ «د.ن.أ» ثنائي، فيمكن التصرف بالمعلومات كما تفعل آلة تورنج، التي تأخذ شفرة متداخلة مؤلفة من سلسلة من الأصفار والآحاد مثلا 1011100101، ثم تجرى عليها أربع عمليات من أجل التوصل إلى الناتج. ويمكن للمرء أن يغير الـ «1» إلى «0» والـ «0» إلى «1»، وأن يتحرك إلى الأمام أو الوراء بخطوة واحدة على الشريط. ويمكن إرجاع كل أجهزة الكمبيوتر الرقمية التتابعية إلى آلة التوزيع المتواضعة مهما كانت سرعتها أو تعقيدها.

وبالمثل تألف جزيء الـ «د.ن.أ» من سلسلة من أربعة أحماض نووية مرتبة مثل AACCGTTCCC. ويمكن للمرء تحويل هذا إلى رقم ثنائي عادي. وعلى سبيل المثال، يمكن للمرء أن يرتب تسلسل ATTCG = 1 وTCGGA =0 باستخدام عدد من التفاعلات الكيميائية المعقدة (أي باستخدام أنزيمات التحديد لقص الـ «د.ن.أ»، ولتفاعل البوليمريز المتسلسل لإعادة إنتاج سلاسل «د.ن.أ» ويمكن للمرء أن يقلّد خطوة فخطوة كل عمليات آلة التوزيع. وبالبدء بتسلسل مثل AACCGTTCCC، يمكن للمرء أن يقوم بعمليات تحولّها إلى تسلسل آخر للـ «د.ن. أ». وبهذه الصورة يمكن صنع آلة توزيع تعمل على الـ «د.ن.أ» وبالتالي فإن رطلا

من جزيئات الـ «د ن أ» (معلق بحوالى ألف ربع لتر من السائل الذي يأخذ حجما قدره ياردة مكعبة)، يمكنه أن يخزن ذاكرة أكبر من كل الكمبيوترات التي صنعت حتى الآن. وستكون استطاعتها أكبر بـ ١٠٠ تريليون من قدرة الدماغ البشري. وأكثر من ذلك، فإن الأونصة الواحدة فقط من «د ن أ» يمكن أن تكون أسرع بـ ١٠٠ألف مرة من أسرع كمبيوتر فائق.

ويقول ريشارد ليبتون من جامعة برنستون «لقد بدأت بوابات السيل تتفتح. إنني لم أر قط مجالا يتحرك بمثل هذه السرعة». ويقول رونالد جراهام من مختبرات بيل لشركة AT&T «يبدو الأمر كما لو أن بابا فتح إلى (حانوت ألعاب كامل وجديد)» لقد برهنت أجهزة كمبيوتر الـ «د ن أ» على جدارتها بالفعل، حيث قام كمبيوتر من هذا النوع صنعه أدلمان بحل نسخة من لغز البائع الجوال الشهير (أي حساب أقصر طريق يتعين على بائع جوال أن يسلكه من أجل وصل عدد «من المدن» بحيث يزور كل مدينة مرة واحدة فقط. إن هذه المسألة البسيطة ظاهريا تصبح معقدة جدا بزيادة العدد «ن». ولقد حل كمبيوتر الـ «د ن أ» نسخة واحدة من هذه المشكلة في أسبوع واحد، في حين أنها كانت تستغرق من كمبيوتر تسلسلي عادي عدة سنوات.

إن أحد مقاييس الكمبيوتر هي قدرته على حل شفرة الـ DES (تشفير البيانات القياسي) الذي صمم من قبل وكالة الأمن القومي لحماية التبادلات الحكومية والمستخدم أيضا من البنوك الكبرى (وهناك مئات البلايين من الدولارات على شكل سجلات لشركات ترسل بشكل روتيني خلال خطوط الاتصالات عبر نظام الـ DES). ولأن كمية كبيرة من علميات البلد التجارية والعسكرية مبنية على نظام الـ DES، فقد اهتمت الحكومة منذ زمن طويل بمعرفة فيما إذا كان من الممكن حل الشفرة. إن شفرة الـ DES المتطورة مبنية على رقم من ٥٦ بتا يدعى «مفتاحا». (المفتاح هو مجموعة التعليمات المنطقية المستخدمة لإنشاء رسالة). والحيلة هي إيجاد المفتاح الصحيح من بين ($٢^{٥٦}$) مفتاحا محتملا. وسيستغرق الكمبيوتر العادي حوالى ١٠ آلاف سنة لتجريب كل هذه المفاتيح. لقد اعتقدت الحكومة مرة أن شفرة الـ DES مضمونة لـ ١٠ آلاف عام القادمة. ويمكن لكمبيوتر الـ «د ن أ» أن يغير هذا كله. ويعتقد ليبتون أن «عدة أشهر من

الكمبيوترات البيولوجية» فقط تكفي لفك شفرة DES. ويوافق دان بونيه من جامعة برنستون على هذا الرأي ويحسب أنه يلزم ٩٠٧ خطوات بيولوجية لفك شفرة DES. وهي تستغرق حوالى ٤ أشهر على كمبيوتر الـ «د ن.أ» تقريبا (لن ينهار النظام المالي تماما عندما يفك كمبيوتر الـ «د ن.أ» شفرة الـ DES. فالبنوك غالبا ما تشغل معلوماتها الأكثر سرية خلال DES ثان أو ثالث) ولكن لكمبيوترات الـ «د ن.أ» مساوئها مع الأسف. وأحد هذه المساوئ هو أن جزيئات الـ «د ن.أ» تتحلل في النهاية. ونتيجة لذلك لا يمكن للمرء أن يخزن كميات هائلة من البيانات على كمبيوتر الـ «د ن.أ» لمدة طويلة من الزمن. وعلى المرء أن ينقل الذاكرة في النهاية إلى كمبيوتر عادي. وثانيها أنها ليست متعددة القدرات بشكل غير اعتيادي. فحاليا تتطلب كل مشكلة تركيب سلسلة فريدة من التفاعلات الكيمياوية. ويتطلب حل مشكلة رياضية أخرى تحضير سلسلة جديدة تماما من التفاعلات الكيمياوية. أما أجهزة الكمبيوتر السيليكونية فهي بالمقابل أجهزة ترتبط بالهدف، وبالتالي يمكن لكمبيوتر واحد أن يحل ملايين المسائل المختلفة من دون الحاجة إلى إعادة ربط أسلاكه كل مرة.

وليس من المحتمل أن تحل كمبيوترات الـ «د ن.أ» محل أجهزة الكمبيوتر المحمولة والشخصية، فهي كبيرة الحجم جدا وليست متعددة الوظائف بما فيه الكفاية، وتكنولوجيا الشريحة السيليكونية أكثر فائدة في معظم التطبيقات اليومية. ومع ذلك ستتفوق أجهزة الـ «د ن.أ» على الأجهزة السيليكونية المركزية في المهمات الضخمة، عندما تحتاج إحدى المنظمات إلى قوة حسابية كبيرة للغاية لحل مشكلة معينة.

ويعتقد معظم محللي الكمبيوتر حاليا أن كمبيوتر الـ «د ن.أ» وأجهزة الكمبيوتر العضوية الأخرى مثل أجهزة الكمبيوتر البروتينية ستكون مفيدة لحل أنواع محددة من المسائل، التي تحل الآن بواسطة أجهزة الكمبيوتر المركزية الفائقة. ولكن مهما أصبحت قوة أجهزة كمبيوتر الـ «د ن.أ» هذه، فإنها تصبح باهتة بالمقارنة بالترانزستور النهائي أو ترانزستور الكم والكمبيوتر النهائي (كمبيوتر الكم). فلن تكون أصغر الترانزستورات ومكوناتها هي الجزيئات بل الإلكترونات ذاتها.

ما بعد ٢٠٢٠: أشباه الموصلات الكمية

تصطدم الدوائر الإلكترونية في نهاية المطاف بقوانين فيزياء الكم. إن إحدى الفرضيات الأساسية في نظرية الكم هي أن المادة يمكنها أن تظهر خصائص موجية وأخرى جسيمية، فالإلكترونات عندطاقات منخفضة مثلا تتصرف كموجة إلى حد بعيد، بينما تتصرف الإلكترونات ذات الطاقة العالية مثل جسيمات نقطية. وبسبب هذه الطبيعة المزدوجة، تظهر الإلكترونات خصائص موجية غريبة مخالفة للتوقعات، وبينما يمكن حجز الجسيمات بواسطة حواجز مرتفعة على سبيل المثال، فإن بإمكان الموجات أن تلف حولها (وبشكل أدق تقول نظرية الكم إن الإلكترون عبارة عن جسيم نقطي، ولكن احتمالية العثور عليه تعطى بمربع دالة شرودنجر الموجية. فمع تسارع الإلكترون، يقصر الطول الموجي لموجة شرودنجر، ولذا فإن احتمالية العثور عليه تكون عظمى في نقطة محددة. ومع تباطؤ الإلكترون يزداد طول الموجة، ويصبح احتمال العثور عليه منتشرا خلال المكان. ونتيجة لذلك لا يمكننا أن نحدد بدقة موقع الإلكترون وسرعته. وهذا الوضع يُعَبَّر عنه رمزيا من خلال مبدأ «عدم التحدد» لدى هايزنبرج. وهذا المبدأ الذي يعد أحد أعمق المبادئ في نظرية الكم ينص على أن هناك احتمالا معينا بإمكان حدوث حوادث غير ممكنة ظاهريا. تصور أن تكون محصورا في سجن عليه حراسة مشددة. وعادة فإن لطم وجه المرء بحائط قرميدي ضخم لا يؤدي إلا إلى ألم في الرأس. ومع ذلك فهناك احتمال معين بأن تتسرب ذرات الرأس خلال ذرات الحائط القرميدي مما يسمح للمرء بأن يهرب من السجن (يمكن حساب احتمال وقوع هذا الحادث، وهو احتمال صغير جدا بحيث إن هذه الحادثة لن تحدث خلال عمر الكون كله. ولذا فنظرية الكم ليست وسيلة عملية للهروب من السجن).

وبالمثل فإن الإلكترونات محصورة في سجنها الخاص وهو السلك. ومثل السجين فإنها ترتطم بشكل مستمر بجدران هذا السلك، ولكن بوجود اختلاف حاسم وهو أن عدد الإلكترونات وعدد المرات التي تضرب بها الجدران فلكيان حقا. ولذا فهناك احتمال لا يمكن إغفاله بأن تمر بعض الإلكترونات من خلال السلك وخاصة إذا كان هذا السلك دقيقا جدا. وبعبارة أخرى بما أن

الأسلاك أصبحت رقيقة جدا بحيث إنها تقترب من مجال الأبعاد الذرية، وبما أن عدد الإلكترونات الذي يضرب جدران هذه الأسلاك ضخم جدا، فإن عددا منها سيتسرب من خلال الحواجز، مما يجعل تصنيع دوائر منطقية قياسية أمرا مستحيلا.

إن التطور في الإلكترونيات الكمية يتقدم الآن بشكل سريع جدا بحيث إن التجهيزات التي تستخدم (إلكترونات وحيدة)، والتي اعتُبرت غير ممكنة منذ عدة سنوات تصنع الآن، مما يجعل (الترانزستورات الكمية) ممكنة. وإلى الآن تمكن العلماء من صنع «جيب كمي» وهو عبارة عن إلكترون وحيد محصور ضمن طبقتين. أما (الخط الكمي) فيتألف من إلكترون وحيد محصور في خط، وأما (النقطة الكمية) فهي تتألف من إلكترون وحيد محصور في نقطة واحدة في الفضاء (عادة بحدود ٢٠ نانومتر عرض، وهي تقريبا بحجم ٥ إلى ١٠ ذرات). وداخل هذه الأجهزة الكمية يمكن للإلكترون الوحيد أن يهتز عند ترددات معينة مظهرا الخاصة الموجية لل «طنين». فعندما يهتز وتر الكمان - على سبيل المثال - يسمح لترددات محددة فقط (مثل C وB وA وG) بأن تطن (عند الغناء في الحمام فإن بإمكان شخص يمتلك صوتا ناعما أو منخفضا أن يغني بصوت ذي أبعاد أوبرالية لأن بعض الترددات تتضخم وتطن بين جدران الحمام). وبالمثل فإن إلكترونا وحيدا محصورا داخل نقطة كمية سيطن مثل وتر الكمان تماما أو مثل صوتك وأنت تغني في الحمام. ولكن بعض الترددات المسموحة يمكن أن تهتز داخل النقطة الكمية، وبتغير التوتر على النقطة الكمية بشكل بسيط، يمكن للمرء أن يجعل الإلكترونات تتدفق خلال النقطة. وهذا يعادل البت في « 1 ». وإذا رفع الڤولتية أكثر بقليل تحطم الطنين وتوقف جريان التيار، وهذا يعادل البت «0». ولكن إذا ارتفعت الڤولتية مرة أخرى، فإنك تصطدم بالطنين الثاني ويجري التيار مرة أخرى. وبهذه الطريقة فإن النقطة الكمية تعادل عددا من الترانزستورات وبالتحكم بالڤولتية على النقطة الكمية يمكنك أن تصطنع سلسلة من الرسائل الرقمية الثنائية. وبعبارة أخرى يتألف أصغر ترانزستور في العالم من إلكترون وحيد محصور ضمن نقطة أكبر بقليل من الذرة ويستطيع تقليد عمل عدد من الترانزستورات بدلا من ترانزستور واحد فقط.

إن الترانزستورات الكمية هذه لم تعد أحلاما لفيزيائي الكم: فلقد صُمِّمت. ولكن بما أنها حساسة جدا ومن الصعب التعامل معها فإنها توجد في مرحلة المختبر فقط، ولن تطرح في الأسواق لسنوات عدة قادمة.

ويقول جاري فريزر من شركة تكساس للأجهزة «لا أحد جاهز لتقديم ترانزستور كمي بمليون دائرة حتى الآن. ولكن المبادئ بدأت تتبلور». ولكن برغم ذلك لم يوقف هذا الأمر العلماء عن المراهنة حول الخطوة التالية والنهائية: «الكمبيوتر النهائي»، أي الكمبيوتر الكمي.

الكمبيوتر النهائي

تختلف الكمبيوترات الكمية عن الترانزستورات الكمية في أنها أجهزة مبنية على ميكانيكا الكم بالكامل. وبينما تستخدم الترانزستورات الكمية الأسلاك والدوائر التقليدية، فإن الكمبيوتر الكمي سيستبدل الموجات الكمية بكل ذلك. إن أحد أوائل الذين فكروا بإمكانات الكمبيوتر الكمي كان ريشارد فينمان الحائز جائزة نوبل، ففي مقال نشره عام ١٩٨١ سأل فينمان نفسه إلى أي مدى يمكن اختزال حجم الكمبيوتر. وقد فكر أنه عندما تصل الكمبيوترات إلى حجم الذرات فإنها تستجيب إلى مجموعة جديدة من القوانين غريبة بالكامل عن الخبرة العادية. لقد كان فينمان يشعر بالإحباط من عدم قدرة آلات تورنج العادية على حل العديد من المسائل الأساسية في نظرية الكم. فالعديد من الأجسام في فيزياء الكم يتطلب عددا لا متناهيا من العمليات الحسابية وبالتالي فهي فوق قدرة أجهزة الكمبيوتر العادية. ويستغرق الكمبيوتر مقدارا لا متناهيا من الوقت لحساب المسائل المهمة في فيزياء الكم: مثل ماذا يحدث في سائل عندما يبدأ في الغليان؟ أو ما الذي يحدث عندما يصطدم جسيمان تحت ذريين؟

لقد كان حل فينمان بسيطا: لماذا لا تستخدم كمبيوترا كميا لحل مسألة كمية؟ ولقد وضعت أفكاره أخيرا بشكل عملي في ورقة أعدت من قبل دافيد دويتش من جامعة أكسفورد عام ١٩٨٥. لقد أدرك دويتش أن العمليات الكمية تشبه آلات الجمع العملاقة. والفرق الوحيد هو أن أجهزة

الكمبيوتر الكمية تعالج عادة كمية لا متناهية من المعلومات في طرفة عين. إن الكمبيوتر الكمي كائن مختلف تماما عن آلة تورنج. فالنقطة الأساسية هي أن الحسابات التي تستهلك مقدارا لا متناهيا من الوقت على الكمبيوتر، يمكن معالجتها بسرعة على كمبيوتر كمي. ولإعطاء مثال: تصور أنك تمشي عبر الحديقة المركزية في مدينة نيويورك. فإنه بالنسبة لميكانيكا الكم يتعين عليك لكي تحسب احتمال الوصول إلى الجهة الأخرى في الحديقة المركزية، أن تجمع أولا مساهمة كل الدروب الممكنة من نقطة إلى أخرى في الحديقة المركزية بما في ذلك: الدروب التي تؤدي إلى المريخ والمشتري، وحتى مرورا بمجرة أندروميدا إلى أشباه النجوم. وعندما تضاف كل هذه الرحلات التي لا تصدق إلى الأبعاد الخارجية للكون، نحصل على احتمال لعبورنا الحديقة المركزية. وبعبارة أخرى فإن نظرية الكم هي أكثر النظريات غرابة في تاريخ العلم، إذ إنها تسير بعكس الحس العام والبديهة، وتفتح الباب على مصراعيه لكل أنواع المفارقات الصعبة، التي تتحدى مفاهيمنا حول الكون. ولكن هناك شيء وحيد يشفع لها: إنها صحيحة بما لا يقبل الجدل، فلقد استمرت على الرغم من كل تحدٍّ تجريبي طرح عليها. ولأن نظرية الكم تجمع كل الطرق بين نقطتين، بما في ذلك الطرق التي تأخذنا إلى نجوم بعيدة، فإن الكمبيوتر الكمي - من هذا المنطلق - هو آلة جمع عملاقة، تجمع عددا لا متناهيا من الطرق في طرفة عين. ومن هذه الناحية فإن الكمبيوتر الكمي ليس آلة تورنج. فهو مختلف بشكل أساسي عن كمبيوتر الـ «د ن أ» وعن الكمبيوتر الجزيئي (الذي يستطيع أن يعالج كميات كبيرة ولكنها محدودة من المعلومات باستخدام أعداد كبيرة من الجزيئات التي تعمل بالتوازي). وفي عام ١٩٤٤ حدثت فورة حماس، عندما أحرز (بيتر شور) من مختبرات AT&T اختراقا في مجال حوسبة الكم، مبينا أنه إذا أمكن تصنيع كمبيوتر كمي فإن بإمكانه تحليل أي رقم إلى عوامله بسرعة مهما كان هذا الرقم طويلا. وبذلك يمكن أن يكون للكمبيوتر الكمي تأثير فوري في عالم التجارة والصيرفة والتجسس. ويعتمد بعض من تبادلاتها السرية على المشكلة الصعبة في تحليل عدد يمكن أن يتألف من ١٠٠ رقم إلى عوامله. وبما أن أجهزة الكمبيوتر تحلل الأرقام الكبيرة بطريقة الخطأ والتجربة بشكل رئيسي، فإن حل هذه المشكلة سيستغرق

عادة عدة عقود. ولكن الكمبيوتر الكمي، كما بين (شور) يمكنه أن يحل هذه المشكلة الصعبة بسهولة.

ولوضع هذا الأمر في منظوره الصحيح، فقد استغرق الأمر ٨ أشهر لـ ١٦٠٠ كمبيوتر، من كل أنحاء العالم، متصلة مع بعضها عبر الإنترنت لتحليل عدد يتألف من ١٢٩ رقما. وسوف يستغرق الأمر قرونا لهذا الأسطول من الكمبيوترات لتحليل عدد مؤلف من ٢٥٠ رقما، وبإخراجه مطبوعا سيستهلك تحليل ذلك $١٠^{٥٠٠}$ سطر على الورق. وللشعور بحجم هذا الرقم لاحظ أنه لا يوجد سوى $١٠^{٨٠}$ ذرة تقريبا في الكون المرئي، وبعبارات أخرى (فليست هناك ذرات كافية في العالم المرئي) لتسمح لنا بكتابة الخطوات اللازمة لتحليل عدد مؤلف من ٢٥٠ رقما. ومع ذلك فبإمكان كمبيوتر كمي أن يقوم بهذه العملية الحسابية الجبارة.

مابعد عام ٢٠٥٠

سيكون الكمبيوتر الكمي من حيث المبدأ جهازا بسيطا. وعادة تعالج آلة تورنج سلسلة من البتات Bits تعطى بـ «1 و0» مسجلة على شريط. أما الكمبيوتر الكمي فيستبدل سلسلة من الذرات بهذا الشريط. افترض أن الذرات في هذا الترتيب تدور في حركة مغزلية وتُصَفّ بحيث إن محور الدوران يمكن أن يشير إما إلى (الأعلى) وإما إلى (الأسفل). ويقول العلماء إن الذرة يمكن أن تكون في حالتين: إما دوران (للأعلى) وإما دوران (للأسفل). ويعطينا هذا ترميزا ثنائيا ملائما: 0 = دوران للأسفل، 1 = دوران للأعلى. ويدعى هذا البت الكمي بالكوبيت qubit وتقع الكوبت التي تختلف عن البتات Bits في صميم عملية الحوسبة الكمية. ففي آلة توزيع يكون البت إما 1 أو 0. ويقع بينهما شيء. وعلى النقيض من ذلك فإن دوران الذرة في الكمبيوتر الكمي، هو في الحقيقة غير محدد بشكل جيد، ولكنه يمكن أن يوجد فعلا كـ (مجموع) للدوران للأعلى والدوران للأسفل. ولذا فإن الكوبت ليس 1 ولا 0، ولكنه مؤلف من كليهما في وقت واحد. (إن هذه الخاصة الغريبة وهي أن الكوبت يمكن أن يوجد في الوقت ذاته في هذه المنطقة غير المحددة بين 1 و0، يعني أنه يمكن للكمبيوتر الكمي أن ينفذ عمليات أكثر تعقيدا بصورة لا منتهية، بالمقارنة مع آلة تورنج العادية).

وعندما يسطع فوتون من الضوء على هذه المصفوفة، فإن باستطاعته - وهو يقفز خارج الذرة - أن يحول توجه ذرة ما من الدوران للأعلى إلى الدوران للأسفل. والآن قس دوران الفوتون بعد أن يرتد عن المصفوفة. من حيث المبدأ، فقد أضافت نظرية الكم كل الطرق الممكنة، التي يمكن للفوتون أن يعبرها وكل حالات الدوران الممكنة. ولكن عدد الحالات الممكنة لمصفوفة مؤلفة من ١٠٠٠ ذرة هو $٢^{١٠٠٠}$ أو تقريبا ١ مع ٣٠٠ صفر أمامه. ومرة أخرى فإن هذا الرقم أكبر بكثير من عدد الذرات في العالم المرئي. وهكذا فإن الكمبيوتر الكمي يتعامل بسهولة مع أعداد فلكية، يمكنها أن تخنق آلة تورنج العادية. وإذا كانت أجهزة الكمبيوتر الكمية أقوى بشكل لا منته من أضخم الكمبيوترات الفائقة، وإذا كان بإمكانها حل شفرات قدرها مئات البلايين من الدولارات، فلماذا لا يوجد مشروع سريع لبناء كمبيوتر كهذا؟

إن المشكلة هي أن أقل شائبة من العالم الخارجي يمكن أن تعطل الكمبيوتر الكمي، ولذا يجب عزل هذا الكمبيوتر عن كل التداخلات أو الشوائب الممكنة مع العالم الخارجي، وهذا أمر صعب جدا. ومبدئيا فإن شعاعا كونيا واحدا يخترق الكمبيوتر الكمي يمكنه أن يتدخل في العدد اللامنتهي من العمليات التي يقوم بها. وتتطلب المختبرات الفضائية «غرفا نظيفة»، بحيث لا تعطل ذرات الغبار آلات حفظ التوازن الحساسة. وبالمقارنة يجب عزل أجهزة الكمبيوتر الكمية حتى من الجسيمات تحت الذرية الشاردة. إن التقدم في هذا الاتجاه بطيء ولكنه يتسارع. ويضيف ديفيد دويتش لقد أدهشني التقدم التكنولوجي في هذا المجال في السنتين الماضيتين. فعندما سألني الناس هذا السؤال من ٣ أو ٤ سنوات مضت، كنت أقول لهم إنه أمر يستغرق عدة قرون، ولكنني الآن أكثر تفاؤلا».

وكما قال سيث لويد من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا «إنها لعملية صعبة أن تضع عددا من الذرات في سلسلة مع بعضها. أعني أن هذه الذرات صغيرة جدا، وهي أيضا حساسة. ولكن الناس سوف يصلون إلى المرحلة التي يمكنهم أن يتحكموا فيها بهذه الأشياء. إنه إنجاز تكنولوجي كبير. ففي المستقبل غير البعيد، قد يتمكن الناس من إجراء حوسبة كمية كاملة». إن تفاؤلهم مبني على تطورات حاسمة في مختبرين يبنيان بعض عناصر الكمبيوتر الكمي. وقد عُمِل من قبل جيف كيمبل من كالتك، ديفيد

واين لاند وكريس مونرو من المعهد الوطني للمواصفات القياسية والتكنولوجيا في بولدر بكولورادو. وفي التجربة التي أجريت في المعهد بدأوا بمجموعة من ذرات الزئبق مرتبة على شكل صف، وتدور كل ذرة زئبق حول نفسها للأعلى أو للأسفل. ويؤدي تسليط شعاع ليزري، على هذا الصف، إلى جعل ذرة الزئبق تلف حول نفسها للأعلى بدلا من الأسفل. من حيث المبدأ، فإن الشعاع الليزري الذي ارتد من صف ذرات الزئبق يحتوي ضمنا على معلومات لكل الحالات الممكنة للمصفوفة. والمشكلة هي أنه لا أحد في الوقت الحاضر يعرف كيف يستخلص معلومات مفيدة منه.

قد يستمر الوضع حتى منتصف القرن الحادي والعشرين قبل أن يحصل أي تقدم مهم تجريبيا. ولكن الكمبيوتر الكمي لا يزال يستحوذ على مخيلة علماء الكمبيوتر: فهو يمثل من أحد الوجوه، الحدود القصوى. ومع هذا التقدم السريع في مجال أجهزة الكمبيوتر الكمية فإنها قد تصبح أمرا واقعا في النصف الأخير من القرن الحادي والعشرين. ومع ذلك فهناك طريقة أخرى للاقتراب من قدرات تقدر بالبتا فلوب Peta Flop من دون الحاجة إلى استخدام الخصائص الغريبة لنظرية الكم. ويتم ذلك باستغلال جهاز اقترب مسبقا من سرعات بتافلوب Peta Flop: إنه دماغنا.

مبحث البيونيكس(*)

هل يمكن إيجاد وسيلة مباشرة للتعامل مع المخ من أجل استثمار إمكاناته الهائلة؟ يمضي العلماء في فريق استكشاف هذه الإمكانات بسرعة فائقة. والخطوة الأولى في محاولة استثمار الدماغ البشري هي إثبات أن الخلايا العصبية - كلا على حدة - يمكنها أن تنمو وتترعرع على الشرائح السيليكونية. وتتمثل الخطوة التالية في ربط شرائح سيليكونية مباشرة مع خلية عصبية حية داخل حيوان (دودة مثلا). وعلى المرء بعد ذلك أن يبرهن على أنه من الممكن ربط خلايا عصبية بشرية مع شريحة سيليكونية.

(*) مبحث البيونيكس Bionics: أحد فروع علم السيبرنيتيكا، ويهتم هذا الفرع بدعم النظم البيولوجية من خلال توصيلها بأعضاء صناعية أو أنظمة صناعية أخرى، كما يهتم بتطوير آلات أفضل من خلال فهم مبادئ التصميم البيولوجي، والعمل على محاكاتها في الآلات (المراجع).

وأخيرا، وربما كان هذا أصعب جزء على الإطلاق، إنه من أجل إيجاد وسيلة تعامل مباشرة مع المخ يتعين على العلماء فك شفرة ملايين الخلايا العصبية التي تشكل النخاع الشوكي.

في عام ١٩٩٥ أحرز فريق من (البيوفيزيائيين) يقودهم بيتر فرومهيرز من معهد ماكس بلانك للبيوكيمياء في ضواحي ميونخ تقدما كبيرا: لقد أعلنوا أنهم صنعوا بنجاح وصلة بين خلية عصبية طفيلية حية وبين شريحة سيليكونية. وقد تمكن العلماء من تحقيق تقدم كبير بلحم مكونات إلكترونية hard ware بمكونات حية wetware. لقد أوضح بحثهم المميز أن بإمكان الخلية العصبية أن تطلق وترسل إشارة إلى شريحة سيليكونية، وأن بإمكان هذه الشريحة السيليكونية أن تجعل الخلية العصبية ترسل إشارة أيضا. ومن المفترض أن تعمل طرقهم بنجاح على الخلايا العصبية البشرية أيضا.

وبالطبع فإن الخلايا العصبية دقيقة جدا ومرهفة، وهي أدق بكثير من شعرة في رأس الإنسان الأمر الذي قد يحبط عمل العلماء، وغالبا ما يؤدي الفولت الكهربائي المستخدم في التجارب إلى تعطيل الخلايا العصبية أو قتلها. ولحل المشكلة الأولى استعمل فرومهيرز الخلايا من عقدة عصبية (حزمة عصبية) وهي كبيرة إلى حد ما، ويبلغ مقطعها حوالى ٥٠ ميكرونا (أي ½ قطر شعرة الإنسان). ولحل مشكلة الفولت الكهربائي، فقد وضع خلايا عصبية من علقة باستخدام المجاهر وأجهزة التحكم الدقيق التي يتحكم بها الكمبيوتر على بعد حوالى ٣٠ ميكرونا من ترانزستور على شريحة. وبهذه الطريقة تمكن من تحريض إشارات عبر هذه الفجوة من ٣٠ ميكرونا دون تبادل أي شحنات على الإطلاق. (وعلى سبيل المثال، إذا حككت بالونا بشدة و وضعته قرب تيار مائي متدفق، فإن التيار سينحني بعيدا عن البالون ولا يلمسه قط. وبشكل مماثل فإن الخلية العصبية لا تلمس السيليكون إطلاقا). لقد مهد هذا الطريق لتطوير شرائح سيليكونية يمكنها أن تتحكم كما تشاء في إطلاق الخلايا العصبية لشحنات تستطيع بدورها أن تتحكم في حركة العضلات. لقد تمكن فورمهيرز - إلى الآن - من صنع حوالى ١٦ وصلة اتصال بين شريحة وخلية عصبية واحدة. وتتمثل خطوته القادمة في استخدام الخلايا العصبية المأخوذة من قرن آمون لدماغ فأر. وعلى الرغم من أنها أخف بكثير من الخلايا العصبية للعلقة، فإنها تعيش لعدة أشهر، بينما تعمر الخلايا العصبية للعلقة لعدة أسابيع فقط.

لقد تحققت خطوة أخرى في محاولة تربية الخلايا العصبية على السيليكون عام ١٩٩٦. فقد نجح ريشارد بوتمبر من جامعة جونز هوبكنز في جعل الخلايا العصبية المأخوذة من فئران صغيرة السن تنمو على سطح سيليكون مدهون ببعض الببتيدات peptides. ولقد نمت في هذه الخلايا العصبية تفرعات وتشعبات تماما مثل الخلايا العصبية العادية.

إن الهدف النهائي لمجموعته هو تربية خلايا عصبية بحيث تتبع التفرعات والتشعبات خطوات محددة مسبقا يمكن أن تخلق «دوائر حية» على سطح السيليكون. وإذا نجحت التجربة فإنها ستسمح للخلايا العصبية أن تتوافق مع بنية دائرة منطقية على شريحة. لقد بدأ الأطباء في مستشفى الأذن والعين في ماساشوستس التابع لجامعة هارفارد الطبية منذ مدة بتجميع فريق لبناء (العين الإلكتروحيوية) bionic eye، ويتوقع أن يجري هذا الفريق دراسات إنسانية على شرائح كمبيوتر مزروعة في العين البشرية خلال ٥ أعوام، وإذا نجحوا فقد يتمكنون من إعادة البصر للعميان في القرن الحادي والعشرين.

يقول جوزف ريزو «لقد طورنا الإلكترونيات وتعلمنا كيف نضع جهازا في العين دون إصابتها بأذى، وقد بينا أن هذه المواد متوافقة بيولوجيا». وهم يصممون جهازا للزرع مؤلفا من شريحتين، تحتوي واحدة منهما علي لوحة شمسية. وسيحرض الضوء الساقط على اللوحة الشمسية شعاعا ليزريا. وسيضرب هذا بدوره اللوحة الثانية مرسلا رسالة عبر السلك إلى المخ. إن العين الإلكتروحيوية ستكون ذات فائدة ضخمة للأعمى، الذي يمتلك شبكية معطلة لايزال اتصالها بالمخ سليما. ويعاني عشرة ملايين أمريكي على سبيل المثال تدهورا بقعيا macular وهو شكل العمى الأكثر شيوعا لدى المسنين. ويؤثر التهاب صبغة الشبكية، وهو شكل وراثي من أشكال العمى، على ١,٢ مليون أمريكي آخر.

لقد أظهرت الدراسات منذ فترة أنه من الممكن تحريض مخاريط وعصي شبكية الحيوان كهربائيا مما يخلق إشارات في القشرة البصرية في مخ الحيوان. ويعني هذا أنه من الممكن مبدئيا في يوم ما ربط عيون صناعية تمتلك دقة وقدرات متعددة بصرية أكبر من أعيننا إلى المخ. إن عيننا هي بشكل أساسي حيوان من الرئيسيات؛ فهي لا ترى إلا بعض الألوان التي تراها هذه الحيوانات، ولا يمكنها أن ترى ألوانا تستطيع أن تراها حيوانات أخرى

(فالنحل مثلا يرى الإشعاع الشمسي فوق البنفسجي ويستخدمه في بحثه عن الأزهار). ولكن من الممكن صنع عين صناعية بقدرات فوق بشرية، مثل الرؤية المجهرية أو الرؤية عن بعد أو القدرة على رؤية الأشعة فوق البنفسجية أو تحت الحمراء. ولذا فقد يكون من الممكن في مرحلة ما تطوير بصر اصطناعي يتجاوز قدرة البصر العادي.

وقد يتمكن العالم بعد عام ٢٠٢٠ من ربط معالجات سيليكونية دقيقة بأذرع وأرجل وأعين صناعية مباشرة مع الجهاز العصبي للإنسان، مما يشكل عونا كبيرا لذوي الاحتياجات الخاصة. ولكن على الرغم من أنه من الممكن ربط الجسم البشري بذراع ميكانيكية قوية فإن الأعمال المثيرة التي رأيناها على برنامج التلفزيون (رجل بستة ملايين دولار) سوف تضع إجهادات لا يمكن تحملها على هيكلنا العظمي مما يجعل معظم الإنجازات فوق البشرية غير ممكنة. فالحصول على قوة فوق بشرية يتطلب هياكل عظمية فوق بشرية تستطيع امتصاص الصدمة والجهد لمثل هذه الأعمال الخارقة.

دمج العقل والآلة

مع كل هذه النجاحات، يمكن للمرء أن يتوقع بصورة معقولة أن يتمكن العلماء بحدود عام ٢٠٢٠ من ربط أنواع مختلفة من الأعضاء إلى شرائح السيليكون، وربما أمكن بذلك إعادة تنشيط أعضاء الجسم غير العاملة أو المشلولة. ويعود السبب في هذا التفاؤل إلى أن عددا بسيطا فقط من الخلايا العصبية يرتبط بالتحكم في العديد من أعضاء الجسم. ولذا يجب أن يكون من السهل نسبيا معرفة اتصال هذه الأعضاء ببعضها. ومع ذلك فإن الوصل إلى الدماغ ذاته مباشرة يفرض مجموعة جديدة وكاملة من المشكلات.

إن عدد الخلايا العصبية في النخاع الشوكي للجسم كبير جدا بحيث إن من المستحيل على المدى المنظور وصل ولو جزء قليل منها إلى أقطاب. وسيكون ذلك مثل محاولة الوصل في شبكة وخطوط الهاتف التي تصل مدينة نيويورك بباقي العالم من دون دليل أو كتيب تشغيل. إن توصيل الدماغ معقد ومرهق جدا بحيث إن الوصل الإلكتروني مع كمبيوتر أو شبكة عصبية دائمة، هو أمر مستحيل الآن على ما يبدو.

وفي الوقت الحالي فإن فهمنا للمخ لا يزال بدائيا. فنحن لا نعرف إلا الملامح العريضة لكيفية اتصال أعضاء الجسم بمناطق المخ (يتم ذلك بتحليل أشخاص أصيبوا بعطل دماغي أو باستخدام الفحص بالأشعة المقطعية). ولا يعرف العلماء إلا على المستوى الهيكلي ما هي أجزاء المخ التي تتعلق بوظائف عامة. وعلى المستوى الخلوي لا يمتلك العلماء أي فهم أيا كان لكيفية ربط الأعصاب. ويشبه ذلك أن يسعى إنسان لفهم دولة صناعية حديثة بفنونها وآدابها وتجارتها وسياستها في حين لا تتوافر لديه سوى خريطة لنظام الطرق السريعة بين ولاياتها.

ومن الممكن أن نصل إلى القرن الثاني والعشرين قبل أن يبدأ العلماء بفهم كيفية توصيل أعصاب المخ، ناهيك عن القدرة على تعديلها. ولقد أجرى رالف ميركل من مركز بالو آلتو التابع لشركة زيروكس بعض الحسابات الأولية للزمن والمال اللازمين لمعرفة كيفية توصيل أعصاب الدماغ، عصبا فعصبا. وهو يعتقد أنه من الضروري أولا تقطيع المخ البشري إلى ملايين الشرائح الرقيقة ثم تحليل وفحص كل واحدة منها بواسطة المجهر الإلكتروني. وباستخدام برامج كمبيوترية للتعرف على الصور في المستقبل، يمكن للكمبيوتر أن يمسح هذه الصور لإعطاء مخطط ثلاثي الأبعاد للدماغ مظهرا كيفية وصل كل خلية عصبية مع الأعصاب الأخرى كلها. وبما أن هناك ٢٠٠ بليون خلية عصبية تقريبا، ويتصل كل منها بـ ١٠ آلاف خلية عصبية أخرى، فإن هذا سيكون إنجازا جبارا.

من ناحية أخرى قد يتطلب الأمر مشروع جينوم بشري آخر ليحدد بدقة كيفية التوصيل داخل المخ. لقد قدر ميركل أن الكلفة باستخدام التكنولوجيا الحالية ستكون مبلغا ضخما يقدر بـ ٣٤٠ بليون دولار، ولكن وفق قانون مور فمن المحتمل أن تنخفض الأسعار خلال السنوات القادمة. وقد قدر أنه بحدود عام ٢٠١٠ فإن التكنولوجيا ستكون في النهاية رخيصة بما يكفي للبدء في هذه المهمة الضخمة. وستستغرق المعرفة الحقيقية للخلايا العصبية في الدماغ ٣ سنوات، بعد ذلك، وبكلفة ١٢٠ مليون دولار.

ولكن حتى بعد الحصول على خريطة مفصلة لتوصيلات المخ، يظل على المرء أن يقرر كيف تتحرك الإشارات داخله وكيف ترتبط الأعضاء المختلفة معه. ومع ذلك فإن هذا لم يمنع بعض الأشخاص من إجراء بعض التخمينات حول الربط بين المخ والآلة، وهو أمر ينتمي حقا إلى المستقبل البعيد.

المستقبل البعيد: توليد سايبورج في المعمل

يشعر بعض العلماء أن الاتجاه النهائي للبحث العلمي سيكون دمج الثورات العلمية الثلاث في المستقبل البعيد؛ فنظرية ستزودنا بترانز ستورات كمية دقيقة أصغر من الخلية العصبية، وستقدم لنا ثورة الكمبيوتر شبكات عصبية بقوة الشبكات الموجودة في المخ، وتمنحنا الثورة البيوجزيئية القدرة على استبدال الشبكات العصبية لدماغنا بأخرى مصنعة مما يعطينا شكلا من أشكال الخلود.

لقد وهب التطور دوما للكائنات الحية قدرات على التكيف تمكنها بشكل أفضل من البقاء، وربما أدى مزج الخصائص الميكانيكية والبشرية إلى خلق صنف من الكائنات يمتلك إمكانات أكثر تفوقا من أجل البقاء. وقد يكون البشر، بحسب هذا المنحى من التفكير، في طريقهم لصنع الأجسام للمرحلة القادمة من مراحل التطور البشري.

ما الذي سيحدث في المستقبل البعيد عندما نصبح قادرين على التحكم في الخلايا العصبية؟ افترض للحظة أن تصبح فكرة (ميركل) حول إمكان مسح كل خلية عصبية موجودة في الدماغ حقيقة في أواخر القرن الحادي والعشرين أو بعد ذلك. هل يمكن عندئذ أن نعطي أدمغتنا أجساما خالدة؟

لقد تصور هانز مورافيك في كتابه الذي أصدره عام ١٩٨٨ بعنوان «أبناء العقل Mind Children» أن اتحادا إلكتروحيويا من هذا النوع بين البشر والآلات سيقود إلى نوع من أنواع «الخلود». إنه يتصور أن بإمكان البشر في المستقبل البعيد أن ينقلوا تدريجيا وعيهم من أجسادهم إلى إنسان آلي من دون أن يفقدوا وعيهم. وفي كل مرة تزال فيها مجموعة صغيرة من الخلايا العصبية، يقوم الجراح بوصلها مع مجموعة من الشبكات العصبية في وعاء معدني ناسخة بدقة الإطلاق الأصلي للمجموعة الأصلية. وبوعيه الكامل يستبدل الدماغ تدريجيا قطعة فقطعة بكتلة ميكانيكية من الأعصاب الإلكترونية. وعند الانتهاء سيمتلك دماغ الإنسان الآلي كل الذكريات وأنماط التفكير للشخص الأصلي، ولكنه سيكون ضمن جسم ميكانيكي من السيليكون والفولاذ يمكنه أن يبقى إلى الأبد.

وبالطبع فإن التكنولوجيا الضرورية للتحكم بالخلايا العصبية المستقلة حسب الرغبة، إضافة إلى نقل وظائفها إلى شبكة عصبية هو فوق قدرة أي

شيء ممكن خلال القرن الحادي والعشرين. ولكن يبقى السؤال المطروح في محله، لأنه إذا كان هذا السيناريو ممكنا، فلربما كنا نقوم بوضع أساس الخطوة القادمة في التطور البشري.

إن أحد الأشخاص الذين يحملون هذه الأفكار الغامضة على محمل الجد هو مؤسس الذكاء الاصطناعي مارفين منسكي. فبدلا من الانتقاء الطبيعي الذي يعطينا الخطوة التالية في التطور عن طريق التجربة والخطأ، يعتقد منسكي أن الخطوة التالية ستكون «الانتقاء غير الطبيعي»، عندما يحاول علماء الذكاء الاصطناعي ـ عمدا ـ نسخ الدماغ البشري خلية بخلية.

ولكن كيف سيكون رد فعل الناس عندما يستيقظون ذات يوم، ليجدوا أن أجسامهم مصنوعة من الفولاذ والبلاستيك؟ وعندما وجه هذا السؤال إلى علماء آخرين استجابوا بمجرد الرد «هناك أشياء لا حصر لها أريد اكتشافها، وهناك مسائل كثيرة جدا أريد أن أحلها بحيث إنني سأستغرق قرونا عدة لذلك». ويتساءل «هل سترث أجهزة الإنسان الآلي الأرض؟». «نعم ولكنهم سيكونون أطفالنا؛ فنحن بعد كل شيء مدينون بعقولنا إلى حياة وموت كل المخلوقات التي شاركت في الصراع الذي أطلق عليه اسم التطور. ومهمتنا هي ألا ينتهي كل هذا العمل إلى كم مهمل لا معنى له».

ومن الواضح أن ثورة الكمبيوتر ستتفاعل مع المجتمع بطريقة تفتح إمكانات جديدة ومثيرة من تحولات البت وكمبيوترات الـ «د.ن.أ» وصولا إلى البشر المطورين. ولكن كل هذه مجرد احتمالات وليست أمورا متحققة. وفي التحليل النهائي فإن الأمر يعود إلينا في الاختيار بين بدائل عدة مختلفة بحسب تأثيراتها المتنوعة في حياتنا وعائلاتنا ووظائفنا. وعلينا نحن أن نحدد مقدار السلطة التي نرغب في منحها لمخلوقاتنا، فهل سنكون سادة الآلات، أم هل ستصبح الآلات سادتنا؟



٦

هل انتهى عصر البشر؟

تثير ثورة الكمبيوتر رؤيتين مختلفتين تماما للمستقبل: الأولى هي لمستقبل من التفوق والرغد، ولعالم من الاتصالات الفورية والمعرفة غير المحدودة والخدمات التي لا سابق لها والتسلية التي لا حدود لها، وستتشكل صناعات حيوية جديدة عن طريق ثورة الكمبيوتر، بينما يزيد قانون مور قدرة ومجال الكمبيوتر بشكل ثابت ومستمر. وسينمو عدد من الوظائف التكنولوجية الراقية تدعى بالـ «وظائف السبرانية» في أرجاء البلد. ومنذ مدة أصبحت الكمبيوترات حيوية جدا للاقتصاد، بحيث إن صناعة الطيران والمصارف وشركات التأمين وحتى الحكومة الاتحادية ستتوقف من دونها.

وهناك، مع ذلك، رؤية أكثر تنحو إلى التشاؤم مفادها أن أجهزة الكمبيوتر يمكنها أن تساعد على تحقيق عالم مرعب، تتحكم فيه حكومة شمولية بكل نواحي حياتنا، كما أوضح ذلك جورج أورويل في روايته ١٩٨٤. فمن

«تستطيع أجهزة الكمبيوتر أن تحل أي مشكلة في العالم، عدا البطالة التي تخلقها هي»

شخص مجهول

الممكن تخبئة أجهزة التنصت الإلكترونية في أي مكان، بحيث تسجل بصمت نشاطاتنا، وتتنصت على محادثاتنا. ويمكن التحكم في المجتمع بالحكم الصارم للأخ الأكبر، وبجيش من المخبرين والمراقبين والجواسيس، ويمكن إعادة كتابة التاريخ على هوى أو مزاج طبقة بيروقراطية قاسية وأنانية تتحكم في تدفق المعلومات.

ومن المفارقة أننا نملك اليوم أجهزة للتنصت أقوى بكثير وأكثر انتشارا من أي شيء تم تصوره من قبل أورويل في روايته، ومع ذلك فلا نزال نتمتع بالحريات الديموقراطية الأساسية. وبإعادة قراءة ١٩٨٤ يدهش المرء ببدائية الطرق الإلكترونية المذكورة فيه، بالمقارنة مع آلات اليوم، ومع ذلك فإن تأثير الكمبيوتر وشبكة الإنترنت قد زاد من حريتنا في التعبير، والوصول إلى المعلومات، بدلا من أن ينقصهما. وقد هلَّل العديد للإنترنت على أنها قوة ديموقراطية ولا مركزية في حد ذاتها، تضعف روابط الدكتاتوريات والأنظمة السلطوية. وستخسر الحكومات القمعية، إذا أمكن نشر المعلومات إلى ملايين البشر في العالم بضربة واحدة على المفتاح. ومع ذلك، فإن هناك أخطارا حقيقية، و أولها هو تهديد الحريات المدنية (مثل الخصوصية والرقابة والتنصت)، والتي لا يمكن إلا أن تكون أسوأ في القرن الحادي والعشرين، وسوف يحرّض كل جيل من الشفرات السرية جهودا جديدة لحلها. ويتمثل الخطر الثاني في الاحتمال الواقعي في أن ترسل ثورات الكمبيوتر عشرات الملايين من الناس إلى طوابير الخبز، مما يؤدي إلى زيادة الفوارق على هذه الأرض. وقد يصبح المجتمع بشكل متزايد مجتمعا من الذين «يملكون المعلومات» والذين «لا يملكونها». إن هذا يحدث منذ برهة على نطاق ضيق، ويتسارع باتجاه القرن الحادي والعشرين. وفي أواخر القرن الحادي والعشرين ـ ربما من العام ٢٠٥٠ إلى ٢١٠٠ ـ سيكون هناك خطر من أن تصبح أجهزة الإنسان الآلي «واعية بذاتها» تدريجيا، وبالتالي تشكل خطرا على وجودنا. وعلى الرغم من أن هذه الفكرة لا تزال تأملية تماما، فإن العلماء خصصوا وقتا كافيا من التفكير للسؤال حول كيفية التحكم في أجهزة الإنسان الآلي بشكل أفضل، بينما تمتلك هذه الأجهزة تدريجيا خصائص شبيهة بالبشر على نحو مطرد الزيادة.

التنصت على الإنترنت

تمتلئ وسائط الإعلام بالقصص المثيرة عن اقتحام Hacking الكمبيوتر بطريقة غير مشروعة، وفعل الأذى، وحتى السرقة العلنية، ولذا فقد ألح السؤال: هل هناك شفرة نهائية لا يمكن أبدا كسرها مهما كانت الحكومة أو المقتحم ذكيا؟. لقد اقترح جيلبرت فيرنام من شركة AT&T عام ١٩١٨ شفرة فيرنام الشهيرة، والتي برهن عام ١٩٤٠ رياضيا، أنه من غير الممكن حلها. ولسوء الحظ فقد كان مشفر فيرنام معقدا جدا وغير علمي في معظم الاستخدامات (يتطلب أن يمتلك كل من المرسل والمستقبل «مفتاحا» طويلا وهو مجموعة من الأرقام العشوائية السرية). وهناك نماذج مختلفة مبسطة من مشفر فيرنام تستخدم اليوم، ولكن من المعتقد أن بالإمكان حل بعضها رياضيا.

ويمكن أن يتغير هذا الوضع بشكل كبير خلال الأعوام العشرة القادمة، بينما يتم تبني نظام جديد للتشفير، وهو نظام لا يمت بصلة إلى عالم الرياضيات، ولكنه من نظرية الكم، ويبشر مجال جديد من مجالات هذه النظرية يدعى «التشفير الكمي» بتثوير المفهوم الكامل لسرية الكمبيوتر بحلول العام ٢٠٢٠. وفي هذا المجال يلتقي جيمي بوند مع فيرن رهايزنبرج. كيف يعمل هذا الأسلوب في التشفير؟ كلما تنصت شخص على محادثة سرية لشخص آخر فإنه يؤثر فيها إلى حد ما نتيجة لعملية المراقبة، ولأن بعض المعلومات في الرسالة الأصلية قد تأثر، فمن الممكن اكتشاف هذا التأثير. ويعني هذا من إحدى النواحي أن مراقبة جسم تغير من حالته، وعلى سبيل المثال، فإن إحدى الطرق لمعرفة ما إذا كان الخط الهاتفي مراقبا، هو فحص الفولتية على الخط الهاتفي، فالفولت على الهاتف المراقب أقل عادة، لأن طاقته تسحب بواسطة جهاز المراقبة. وتمضي نظرية الكم إلى حد أعمق من ذلك بكثير، فهي تقول إنه مهما كان جهاز المراقبة حساسا، فسيظل هناك دوما بعض الاضطرابات في الإشارة الأصلية.

ويستخدم التشفير الكمي حقيقة أنه يمكن استقطاب الضوء. أي أن الضوء عبارة عن موجة تهتز في اتجاه معين (عمودي على اتجاه حركتها).

وعلى سبيل المثال إذا كان هناك شعاع ضوئي يتجه صوبك، فإن اهتزازاته يمكن أن تكون في اتجاه أفقي أو عمودي (لهذه الخاصة استخدام عملي في النظارات الشمسية الاستقطابية، التي تقلل من ضياء الشمس عن طريق حجب كل الضوء، الذي يهتز في الاتجاه غير الصحيح). ويستخدم فيزيائيو الكم هذه الحقيقة لإرسال رسائل على شعاع مستقطب بتغيير اتجاه الاستقطاب. وبما أنه من الممكن للنبضات المختلفة من الضوء أن تكون ذات استقطابات مختلفة، لذا يمكننا إرسال رسالة رقمية على حزمة ضوئية. ووفقا لنظرية الكم فإنه إذا اعترض جاسوس الرسالة وراقب الحزمة الضوئية، فإن هذا سيؤثر فيها ويحولها إلى حالة استقطاب غير صحيحة، وسيعرف الشخص على الطرف المستقبل فورا أن شخصا آخر يتنصت على الرسالة. وعلى نقيض كمبيوترات الكم التي يمكن أن تأتي بعد عدة عقود في المستقبل، فقد طُوِّرت مسبقا نماذج أولية من التشفير الكمي. وقد جُرِّب النموذج الأول العام ١٩٨٩. ويقول جيمس فرانسون من جامعة جونز هوبكنز، الذي أجرى تجاربه بنجاح على التشفير الكمي «لقد وصل التشفير الكمي خلال عدة أعوام إلى المرحلة التي يعد فيها حقا قضية هندسية. فلقد بينا حتى الآن إمكان نقل رسائل بشكل آمن بهذه الطريقة بين بناءين وعلى مسافة تبلغ حوالى ٥٠٠ قدم تقريبا». وقد تم التوصل في العام ١٩٩٦ إلى مرحلة مهمة، عندما أرسل العلماء رسالة سرية على ألياف زجاجية بطول ٢٢,٧ كم، وقد حملت الرسالة بواسطة الضوء تحت الأحمر من نيون بسويسرا إلى جنيف، لتثبت أن مبدأ مجردا من نظرية الكم يمكن أن تكون له تطبيقات عملية في العالم الواقعي.

وبسبب النمو الهائل في قدرة الكمبيوتر، فإنها مسألة وقت فقط قبل أن تتمكن أجهزة الكمبيوتر من حل معظم الرموز المشفرة. ولهذا السبب، فإن أكثر الرسائل أهمية في المستقبل ستحتوي بالضرورة شكلا من أشكال التشفير الكمي، ومن المحتمل أن نرى في بداية القرن الحادي والعشرين مؤسسات وشركات ضخمة، تبدأ باستخدام التشفير الكمي في بياناتها الحساسة. لذلك وعلى الرغم من أن مشكلة خصوصية وسرية الكمبيوتر ستناقش بشدة لعدة عقود قادمة، فإن هناك، مبدئيا، حلا نهائيا لمشكلة خصوصية الكمبيوتر.

حوادث قتل على طريق المعلوماتية السريع

بحلول عام ٢٠٢٠ ستصعد صناعات وتهبط أخرى بسبب طريق المعلوماتية السريع، تماما كما جعل نظام السكك الحديدية العابر للقارات في القرن التاسع عشر بعض المدن الريفية، التي لا يمر بها القطار، مدن أشباح، بينما حول البلدان الواقعة قرب تقاطعات السكك الحديدية إلى مدن مزدهرة. وربما أمكن تلخيص خطر ثورة الكمبيوتر بالقصة الشهيرة ـ التي ربما كانت غير صحيحة ـ عن حديث جرى بين هنري فورد والزعيم العمالي والتر رويثر خلال الكساد الكبير: لقد سخر هنري فورد من منافسه، وهو يشير بفخر إلى صفوف الآلات الجديدة اللامعة، التي حلت محل عمال الاتحاد، وسأله «أين عمالك الآن ياسيد رويثر؟».

ورد عليه رويثر بهدوء «سيد فورد أين هم زبائنك؟».

ولأن نقاط القوة والضعف في أجهزة الكمبيوتر الإلكترونية معروفة بشكل جيد، فمن الممكن التنبؤ بأنواع الوظائف المهددة مباشرة من قبل ثورة الكمبيوتر في العقود المقبلة، وهي تشمل ثلاثة أنواع رئيسية من الوظائف:

ـ الوظائف النمطية، التي تقوم على التكرار (مثل عمال المصانع الذين يعملون في خطوط إنتاج ضخمة، والذين هم أول المستهدفين من قبل ثورة الإنسان الآلي).

ـ الوظائف التي تتطلب متابعة أعمال الجرد.

ـ الوظائف التي يقوم بها الوسطاء.

لقد كان النوع الأول من الوظائف مهددا منذ عقود، ولكن المدهش هو أن كثيرا من وظائف الطبقة الوسطى، التي بدت آمنة وتتطلب تعليما جامعيا، والتي ترتبط بأعمال الجرد أو العمل كوسيط، قد تناقصت في عقد التسعينيات. وسوف تُسرِّع الإنترنت من هذا التحول. ويدعي جيفري كريستيان ـ الذي يدير شركة للبحث عن مجال الإدارة في كليفلاند ـ أن «الإنترنت بندقية مصوبة باتجاه الوسطاء، والقائمين بأعمال التأمينات، والعاملين في المصارف الاستثمارية و وكلاء السفر، ومجال توكيلات السيارات. إنها ستصيب الجميع».

أما أندرو جروف مدير انتل، فيطرح الأمر بشكل أكثر صرامة، ويقول «بالنسبة لشخص يعتمد عمله على قواعد بيانات ضخمة، فإنني أرى أن الإنترنت هي بمنزلة موجة مد بسبيلها لأن تجرفني في طريقها، ويتعين عليَّ أن أسرع الخطى بقدر ما تسعفني قدماي، لكي أعيد ترتيب كل أنظمة الحجز

وكل أنظمة حجز الطلبات وقواعد بيانات الزبائن لدي، بحيث تتمكن أعداد ضخمة من الناس من الوصول إليها عن طريق الكمبيوتر. إن أعمالا مثل: وكالات السفر والبنوك ومحلات الفيديو وأسواق الأسهم مهددة في نهاية المطاف من قبل الإنترنت. وعلى سبيل المثال، فإن أول بنك للأوراق المالية على الشبكة، في بينيفيل بولاية كينتاكي يجري أعماله بكاملها على الإنترنت اليوم. ويتباهى جيمس ماهان المدير التنفيذي لهذا البنك، بقوله «لا أمناء صناديق ولا طوابير ولا انتظار وحتى لا فروع». لقد أصبح أمين الصندوق البشري من أمور الماضي، مثل عامل التليفونات الودود، الذي كان يتحادث مع الزبائن عندما كان يقوم بإيصال مخابراتهم بسرعة».

وتلخص مجلة وول ستريت هذا الموضوع بقولها «تعد التجارة الإلكترونية بتحرير العمال لإجراء عمل أكثر إنتاجية وأعلى مردودا، ولكنها ستؤذي عددا من الموظفين أثناء ذلك». إن السؤال الحقيقي مع ذلك هو: عما إذا كانت ثورة الكمبيوتر ستخلق وظائف جديدة للتعويض عن الوظائف القديمة، وعما إذا كانت ستجعل الاقتصاد أكثر ازدهارا وإنتاجية. ومن أحد الوجوه فقد يزيد التخلص من الوسيط من كفاءة الاقتصاد. وعلى سبيل المثال، فقد انتشرت الطرق الخاصة في الولايات المتحدة في القرن التاسع عشر، حيث كان على المركبات أن تدفع أجرة عالية لاستخدامها، وكان هناك حاجز متحرك على كل بوابة أجرة، وبعد دفع الأجرة يقوم حارس البوابة بفتحها، والسماح للمركبة أن تمر. لقد كان هذا هو أصل المصطلح «فتح البوابة». لقد أُنهي هذا النظام الفوضوي، الذي أعاق نمو التجارة بين الولايات بشكل كبير ومن دون رحمة، عندما اشترت الولايات معظم الطرق، وأسست النظام الحديث. وقد سرع التخلص من هؤلاء الوسطاء كثيرا من التدفق الحر والتبادل للتجارة، مما ولد ملايين الوظائف الجديدة، وأدى إلى خلق دولة صناعية حديثة.

ومثال آخر من القرن التاسع عشر، هو الحرف المتعلقة بالخيول و صناعة العربات: فلقد عمل آلاف الناس حدادين ومصلحي وسائقي عربات ومديري إسطبلات ومدربي ومربي خيول، وقد اختفى معظم هذه الوظائف مع قدوم السيارة ومحرك الاحتراق الداخلي. ولكن السيارة غيرت، بدورها، طبيعة المجتمع الأمريكي، خالقة صناعة قوية وحية، وظهرت أنواع جديدة من الوظائف مثل عمال السيارات، والميكانيكيين وبائعي السيارات وعمال الخدمة وعمال

محطات البنزين. لقد كانت نتيجة الانتقال إلى السيارة عميقة جدا في تأثيراتها، بحيث إنها غيرت أيضا طريقة تفكيرنا، مشكِّلة توجهات وميولا اجتماعية جديدة مبنية على ديناميكية المجتمع الجديد. ويعتبر الآن حقا موروثا أن تتمكن من القفز في سيارة، وتقودها إلى حيث تشاء.

لقد كانت هناك نتائج سلبية أيضا مثل اختناقات المرور والتلوث والهجرة إلى الضواحي التي أفرغت المدن. ومن دون قاعدة ضريبية قوية فقد انهار مركز المدينة، مما ساعد على خلق مناطق ضخمة خربة فيها. وينظر إلى الأربعين ألفا من الناس الذين يموتون سنويا في حوادث المرور في الولايات المتحدة (ويعادل هذا تقريبا كل حالات الوفاة في الولايات المتحدة من جراء حرب فيتنام) كأمر مسلَّم به، باعتباره الثمن الذي علينا دفعه لقاء هذا الحق الموروث. والنتيجة هي أن هناك، دوما، تبادلا في المنافع. إن القضية ليست في مناقشة المزايا الجمالية النسبية لصناعة عربات الخيول مقابل صناعة السيارات، فلكل منهما مزاياه ومساوئه. ولكن القضية هي فيما إذا كانت الوظائف من الصناعة الجديدة قد جعلت الاقتصاد أكثر كفاءة، والمجتمع بكامله أكثر ازدهارا وإنتاجية.

الوظائف التي ستزدهر

لذا ما الوظائف التي ستزدهر العام ٢٠٢٠؟ وما الوظائف التي ستقاوم هجوم الكمبيوتر وطريق المعلوماتية السريع؟ هناك في الحقيقة أنواع عدة من الوظائف. وعندما نفهم نقاط القوة والضعف في أجهزة الكمبيوتر، نرى أنه ستكون هناك في الواقع أنواع عدة من الوظائف، التي لن تُستبدل خلال الـ ٥٠ عاما القادمة. ويقول بول كروجمان وهو اقتصادي من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا «ليست هناك حدود للطلب على الخدمات الإنسانية»، ومن المحتمل أن تزدهر الوظائف التالية حتى بوجود طريق المعلوماتية السريع، وإضافة إلى الوظائف التي ستبقى بعد أن تصبح أكثر شخصية وتخصصا، فهناك أيضا مايلي:

الترفيه

سوف يزدهر الكتاب والمؤدون والممثلون والممثلات، الذين يعملون في الفنون الإبداعية في الحقبة الجديدة. إن الزيادة المستمرة في أوقات الفراغ، في

المجتمع، ستولد طلبا قويا على أشكال جديدة من الترفيه، وعلى سبيل المثال، فإن الانتشار الحديث لقنوات الكيبل يخلق طلبا على وسائل جديدة للترفيه والتسلية، لتسد الفراغ في ساعات البث التلفزيوني، وستُوجِد أنواعا جديدة من التسلية، تخلق صناعات جديدة بالكامل.

البرمجة

على الرغم من أن سعر شريحة دقيقة قد يكون أقل من بنس واحد بحدود العام ٢٠٢٠، فإن الوظائف للمبرمجين ستزداد، وستصبح أجزاء الكمبيوتر في النهاية سلعة مثل السجق والنقانق، لكن البرمجيات تتطلب عبقرية رياضية خلاقة لا يمكن بسهولة وضعها مع الكمبيوتر، وعلى سبيل المثال فإن صناعة أفلام الڤيديو التي لم تكن موجودة حتى أعوام قليلة، هي اليوم أكبر من صناعة السينما بكاملها. وبالمثل هناك طلب لا ينتهي على علماء الكمبيوتر، الذين يستطيعون تصميم صفحات جذابة على الإنترنت للزبائن. ويتطلب الواقع الافتراضي الحصول على كمية غير عادية من البرمجيات. ومن المفارقة أن الكمبيوتر قد يجعل بعض الناس بلا عمل، ولكن البرنامج الذي يحتاج إليه الكمبيوتر من أجل أن يعمل لا يمكن للكمبيوتر إنتاجه.

العلم والتكنولوجيا

لا يمكن لأجهزة الكمبيوتر أن تبدع نظريات علمية جديدة، وعلى الرغم من أن سوق العمل للعلماء والمهندسين سيتذبذب مع حالة الاقتصاد، فسوف يكون هناك دوما طلب على المواهب العلمية، وسوف تخلق الاكتشافات من قبل العلماء والمهندسين بدورها صناعات جديدة بالكامل.

صناعة الخدمات

يرتبط السائقون والنادلون والخادمات والمدربون الشخصيون والمرافقون والبوابون ورجال الشرطة والمحامون ومدرسو الموسيقى والمعلمون الخصوصيون، بعلاقات حميمة مع أنواع مختلفة من الأشخاص الآخرين، ومن

المستحيل استبدال الكمبيوتر بهذه الوظائف، وعلى سبيل المثال، تتطلب صناعة السفر، والتي هي الصناعة الأسرع نموا في العالم في الوقت الحالي، أدلاء سياحيين ومديري فنادق وعمال خدمات. وأيضا فإن أجهزة الكمبيوتر تجعل صناعة السفر أكثر كفاءة ومرونة، وأسهل وصولا بواسطة الإنترنت.

وظائف ماهرة وحرفية

إن العمال المهرة مثل: عمال البناء والصيانة وعمل الخدمات الصحية، وفرق عمل الطرق السريعة، ورجال خدمة وقوف السيارات وحارسي الغابات والمعلمين... إلخ لا يمكن استبدالهم بسهولة عن طريق الإنتاج الضخم. ولا توجد وظيفة من هذه الوظائف لها طبيعية متكررة. فكل مهمة جديدة تتطلب تقديرا مختلفا تماما للمشكلة، ويمكن جعل بعضها مثل التعليم آليا جزئيا بوضعه على شبكة الإنترنت، ولكن الطلاب في النهاية في حاجة إلى اللمسة البشرية لحاجاتهم المتخصصة.

خدمات المعلوماتية

سيخدم العاملون في الخدمات المعلوماتية البنية التحتية لصناعة المعلومات، وإصلاح الكوابل والأقمار وأجهزة الكمبيوتر وأجهزة ترحيل البث... إلخ، ومراقبتها. وكلما أصبحت البنى التحتية للمعلومات أكبر، احتاجت إلى عاملين أكثر لبنائها والمحافظة عليها. وسيكون هناك طلب على عمال صيانة يؤدون مهام تتطلب مهارات، لا يمكن أتمتتها مثل: تمديد الأسلاك والكابلات واستبدال أجزاء الكمبيوتر التالفة... إلخ.

العمال الطبيون والبيولوجيون التقنيون

مع زيادة عدد المسنين، سيكون هناك طلب متزايد على عاملي الرعاية الصحية، التي تقدم لهذه الفئة. وقد تقلل أجهزة الإنسان الآلي والطب عن بعد... إلخ الحاجة إلى نوع معين من الوظائف، ولكنها لن تلغيها كليا. وسوف تقدم الثورة التكنولوجية البيولوجية وظائف جديدة بالكامل، تعد اليوم ضربا من الخيال بالنسبة لنا.

صناعات ستتغير أو تندثر

حتى تلك الصناعات التي ستعاني مع قدوم الإنترنت قد تبقى بل وتزدهر، إذا حققت الانتقال نحو تقديم خدمات تخصصية وشخصية، لا يمكن استبدال الآلات بها. وعلى سبيل المثال:

- وكلاء السفر الذين قد يخسرون عميلهم رجل الأعمال المسافر والذكي بسبب الإنترنت، قد يتخصصون في تقديم عروض شاملة لعطلات فاخرة، تتضمن تفاصيل ممتعة تستجيب إلى الاحتياجات الشخصية.

- بينما تستغني البنوك عن الصرافين غير المهرة فإنها ستحتفظ وتشجع المبرمجين والباعة المهرة، ومن المحتمل أنها ستتحرك لتبيع منتجات متخصصة، مثل: شهادات إيداع يمكنهم أن يكسبوا منها عمولات جيدة.

- بينما قد تخسر شركات بيع الأسهم مضاربين مهرة للإنترنت، إلا أنها قد تربح الزبون الأقل خبرة، الذي يقدم قيمة الاهتمام الشخصي وخبرة المحلل في المنزل في تذبذبات السوق.

- وسيسخر وسطاء العقارات الزبون الذي يحب أن يمسح مئات العقارات المعروضة أمام لوحة مفاتيح، ولكنهم سيربحون بالاهتمام بالحاجات الخاصة للزبون، الذي يريد أن يعرف مثلا أين توجد المدارس الجيدة.

والمجال الآخر الذي سيخضع لتغييرات عميقة هو صناعة الطباعة، وبدلا من أن تنهار، كما توقع العديدون، فقد تمر صناعة الطباعة بتحول إلى شكل جديد وأرقى. ويرسم كاتب المقالات تشارلز كراوثامار مستقبلا حالكا لوسائل الإعلام المطبوعة: فهو يتوقع زوال استخدام الورق ويكتب في ذلك: «تصور ماذا شعر حدادو عام ١٨٩٦ عندما رأوا أول سيارة: «أدري، فأنا كاتب صحافي في العام ١٩٩٦، وجربت الإنترنت خلال ستة الأشهر الأخيرة. إن المستقبل - بالنسبة إليّ على الأقل - معتم، فالمستقبل ليس للطباعة». ويستطرد قائلا «لقد تنحت الألواح الفخارية عن الطريق لمصلحة أوراق البردي، وملفوفات جلود الأغنام إلى الكتب المجلدة والمخطوطات المزخرفة إلى نموذج جوتنبرج. وفي النهاية، فإن كل ثورة كانت نحو الأفضل».

وبالنسبة لأولئك الذين يقولون بأن أجهزة الكمبيوتر متصلبة ومستهلكة للوقت ومليئة بالترهات، فإنه يجيب بالمنطق القياسي التالي: «لقد كان ركوب

الحصان أسهل بكثير من تدوير المحرك وتحرير الكابح اليدوي وتعشيق مسنن السرعة، ثم البدء بقيادة السيارة. وبعد ذلك أتى مفتاح إشعال المحرك».

إنه لأمر قابل للجدل مع ذلك، فيما إذا كانت أجهزة الكمبيوتر ستمتلك يوما ما (مفتاح الإشعال) الذي يجعلها، ملائمة تماما كالورق. ولا يزال الناس يحبون أن يتصفحوا العناوين الرئيسية للصحف قبل الذهاب إلى العمل، وقراءة كتب ذات غلاف ورقي على شاطئ البحر أو في المنزل أو في قطار الأنفاق. لقد أصبح الورق ملائما جدا، بحيث قد لا تقترب شاشات الكمبيوتر أبدا من إغرائه وجاذبيته. إن المستقبل الأكثر احتمالا هو أن بعض وظائف الورق ستختفي فعلا.

ومنذ مدة يتقلص حجم الصحف، لأن الجيل الأصغر متعلق بالتلفزيون بدلا من القراءة. ولكن قد تبقى الجرائد في المستقبل لتقديم خدمات ذات طابع متخصص. وبسبب التشويش والفوضى من الإنترنت، فإن على الصحف أن تقدم شيئا لا تستطيعه الإنترنت مثل: تحليل الأخبار من مصادر رسمية والخدمات المتخصصة. إن المشكلة في الإنترنت هي أن أي شخص - من المختلين إلى الخبراء المحنكين - يمكنه تقديم نصيحته غير المطلوبة، مما يخلق تشويشا مستمرا. وربما أخذ المحررون دورا متزايد الأهمية بتقديم شيء لا تستطيع الإنترنت تقديمه، وهو الحكمة. وفي بحر من الثرثرة فإن تلك الأنواع من الوسائط، التي يمكنها أن تقدم حقائق جديرة بالثقة وتحليلا عميقا، ستخدم وظيفة مهمة. وربما سيستقبل الناس بحلول العام ٢٠٢٠ صحفا شخصية منتقاة من شبكة الإنترنت، تمدهم بأنواع محددة من المعلومات، التي يحتاج إليها كل شخص من مصادر موثوقة.

رابحون وخاسرون

ماذا عن العمال غير المهرة والأميين الذين لا يقعون ضمن الفئات المذكورة سابقا؟ الحقيقة هي أنه في كل مرة يقوم فيها المجتمع بقفزة مفاجئة إلى مستو جديد من الإنتاج، فهناك خاسرون ورابحون. وربما ستزيد ثورة الكمبيوتر من خطوط الانقسام الموجودة في المجتمع خالقة «جزرا معلوماتية منعزلة» جديدة. وخلال التاريخ كان هناك تغير مستمر في البنية الاجتماعية

للمجتمع، نتيجة للتغيرات في البيئة والتكنولوجيا. وعندما أدخلت الزراعة بعد نهاية العصر الجليدي الأخير منذ حوالى ١٠ آلاف سنة مضت، استبدلت الزراعة بعمليات جمع الثمار والصيد إلى حد بعيد. لقد كانت الزراعة عملا يقصم الظهر، ولكنها كانت مع ذلك أفضل من المضي في حياة بدوية متداعية في ملاحقة حيوانات الصيد.

ومع مجيء الثورة الصناعية حدثت هجرة جماعية من المزارع إلى مصانع المدن، واليوم لا يعمل إلا حوالى ٢ في المائة من القوة العاملة في الولايات المتحدة في الزراعة. ولقد أعطت الصناعة الحديثة العمال غير المهرة الفرصة لدخول الطبقة المتوسطة خلال جيل واحد أو اثنين: وهناك حاليا ثورتان على الأقل تتمان في العالم: ففي آسيا، حيث يسكن ثلثا سكان العالم يخلق الطلب العالمي على منتجات رخيصة مصنعة بواسطة عمال غير مهرة ، ثورة صناعية ذات حجم غير معهود، مما يؤدي إلى رفع حياة الملايين من الفلاحين إلى مرتبة الطبقة المتوسطة. إن هذه الدول تمر بعملية الانتقال من مجتمع زراعي إلى مجتمع صناعي، ولن يكون هؤلاء الناس بدورهم متعطشين لألعاب الكمبيوتر والواقع الافتراضي فحسب، بل إلى الثلاجات والسيارات وأجهزة التليفون وغسالات الأطباق الآلية...إلخ، وهي بضاعة تصنع من قبل صناعة تقليدية.

إن الاتجاه في الغرب هو نحو قطاع خدماتي متوسع، وقطاع صناعي متدهور. وتمتلك الدولة الصناعية النموذجية قطاعا خدماتيا يمثل حوالى ٧٠ في المائة من الاقتصاد. وفي الولايات المتحدة، على سبيل المثال، لا تشكل الصناعة إلا حوالى ٢٩,٢ في المائة من الاقتصاد، وفي المملكة المتحدة حوالى٣٠ في المائة، أما في فرنسا فتشكل ٢٨,٧ في المائة. لقد تكهن بعض الاقتصاديين بأن القطاع الصناعي في الولايات المتحدة سيتقلص في نهاية المطاف إلى مستوى القطاع الزراعي، أي إلى حوالى ٢ في المائة، وستخلق وظائف وصناعات جديدة بواسطة صناعة الكمبيوتر، ولكن هذه الوظائف ستتطلب مستويات أعلى من التعليم، لا يمتلكها كل شخص.

ويتخيل مايكل فلاهوس، وهو زميل في مؤسسة بروجرس آند فريدم - أحد بيوت الخبرة الكبيرة بنيوت جنجريتش - أن المجتمع في أمريكا سيكون في حدود العام ٢٠٢٠ على شكل طبقات معلوماتية يدعى (مدينة البايت). ففي القمة هناك

سادة العقل (من طراز الملياردير بيل جيتس أحد أقطاب تكنولوجيا المعلومات، يليهم في المرتبة عمال الخدمات الراقية أو العاملون في تكنولوجيا المعلومات، ثم العمال اليدويون (العبيد السبرانيون). وفي الدرك الأسفل من المجتمع هناك الناس الضائعون، وهم الذين تجاوزتهم ثورة الكمبيوتر تماما. ويرى فرانك أوين (من صوت القرية Village Voice) هذا التقسيم على أنه رؤية معتمة، وبعبارات أخرى فمن الممكن أن تزيد ثورة المعلومات ثروة البعض على حساب الأغلبية. وكما لاحظت باربرا إيريزايش: «أن جنجريتش يبشر بموجة ثالثة من المستقبلية، بينما يمثل مصالح المتنفذين من الموجة الثانية».

لقد اقترحت بدائل عدة لتخطي هذا الاستقطاب المحتمل للمجتمع، ويتمثل أحد البدائل في بذل مجهود ضخم لإعادة تدريب العمال فيما يشبه قانون المحاربين، الذي أصدر بعد الحرب العالمية الثانية، والذي وجه العديد من المحاربين الشباب نحو وظائف ذات مردود مرتفع. وقد تكون إعادة التأهيل عنصرا أساسيا في أي حل بعيد المدى للمشكلة. ولكن إحدى العقبات هي تكلفة مثل هذا البرنامج، خاصة عندما يصبح العديد من العمال العاطلين أكبر سنا وأقل مرونة. ويتمثل الاقتراح الأكثر جذرية في تغيير طبيعة العمل. وقد لاحظ البعض أن أصل فكرة «الوظيفة» و«المرتب» ظهر مع الثورة الصناعية منذ ٢٠٠ عام مضت. فقبل ذلك كان الناس محصورين في أعمال مدى العمر ضمن طائفة حرفية أو أعمال في مزرعة. إن أحد الحلول سيكون تمويل وظائف حكومية خدمية ضخمة لتنظيف بيئتنا ومدننا، أو لتقديم أشكال جديدة من الفن والتسلية. وإذا كان الاقتصاد منتجا جدا بحيث يمكن لنسبة قليلة من السكان أن تنتج كل يوم الطعام والبضائع اللازمين لاستمرار المجتمع، فلماذا لا يستخدم هذا الثراء الزائد في تأمين فرص العمل للناس من أجل إغناء المجتمع بكامله؟ ويرى الناقد الاجتماعي جيريمي رفكن - على سبيل المثال - حصول كارثة للمجتمع ما لم يشارك العمال في الثروة التي يخلقها الكمبيوتر، وهو يتخيل تقوية «القطاع الثالث» بشكل واسع (أي المجتمع المدني في مقابل القطاع العام أو القطاع الخاص)، والمؤلف من مؤسسات غير ربحية ومجموعات أهلية... إلخ لامتصاص العاطلين عن العمل.

زيادة الثروة

أدى الاضطراب الاقتصادي إلى نشوء سجال حول كيفية تقسيم الثروة: سجال تترصد فيه جماعة مصالح جماعة أخرى، وانتصار إحداهما هو هزيمة للأخرى. وفي النهاية فإن المحصلة لهذه اللعبة ستكون صفرا، فحصول جماعة على مصالح معينة ـ على نصيب أكبر ـ يعني انخفاض نصيب جماعة أخرى، كما أن الثروة تتقلص في بعض المجالات، والناتج الأخير لهذه العملية هو أن الفواصل الطبيعية للانقسام بسبب العرق أو الطبقة تزداد اتساعا.

وتتمثل وجهة نظري الشخصية في الحاجة إلى (زيادة حجم الثروة)، وفي المحصلة كان العلم والتكنولوجيا مصدرين رئيسيين في تزايد ثروتنا في القرون الحديثة. ففي القرن التاسع عشر، على سبيل المثال، قدم العلم والتكنولوجيا الأسس للصناعات الميكانيكية، المؤسسة على السكك الحديدية والمحركات البخارية والتلغراف والمواد الكيمياوية والخدمات والنسيج وغير ذلك. وقد دفع هذا الولايات المتحدة إلى المقدمة في الاقتصاد العالمي، ولأن الاختراعات التكنولوجية تتطلب اليوم رقيا علميا أكبر، فإننا نحتاج في القرن الحادي والعشرين إلى ضخ إمكانات أكبر إلى التعليم والعلم، من أجل جني عوائد عظيمة في المستقبل (ولذا فإن التقلب الحتمي في الأوضاع، الناجم عن ثورة الكمبيوتر، هو في الحقيقة مجرد عرض وليس السبب الأصلي للمشكلة).

ما الذي يخلق الثروة في القرن الحادي والعشرين؟

لماذا سببت الأتمتة مثل هذا القلق بين العمال وخاصة بالنسبة للمديرين من الطبقة المتوسطة؟ إن جذور حالة عدم الاستقرار الحالية الناجمة عن السوق العالمية أعمق من إدخال الكمبيوتر. وبحسب ليستر ثارو العميد السابق لكلية سلون للإدارة التابعة لمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا، فإن ما يحدث ليس أكثر من تحول مفاجئ في الطريقة التي تنشأ بها الثروة على هذا الكوكب.

فمنذ ٣٠٠ سنة مضت، ومع مولد النظام الرأسمالي، صعدت الدول التي راكمت ثراء ضخما واستغلت الموارد الطبيعية ورأس المال إلى المقدمة، كما سجل آدم سميث ذلك في كتابه «ثروة الأمم». ولكن في القرن الحادي والعشرين وكما

كتب ثارو فإن «المقدرة الفكرية والخيال والاختراع وتنظيم التكنولوجيات الجديدة هي العناصر الإستراتيجية الرئيسية».

إن بعض الدول التي من الممكن أن تصبح عملاقة اقتصاديا في القرن الحادي والعشرين مثل اليابان والصين فقيرة نسبيا بالموارد الطبيعية والأراضي الزراعية، ولكن تتوافر لديها قوة عاملة مدربة ودؤوب وقد وضعت أولوياتها على العلم والتكنولوجيا. ويضيف: «في عصرنا أصبحت المهارات والمعرفة هما المصدر الوحيد للتفوق النسبي». وقد ينحدر العديد من الدول التي وهبت مصادر غنية نحو الفقر، بينما يستمر سعر المواد الأولية بالهبوط في القرن الحادي والعشرين، إلى أن تتمكن هذه الدول من فهم هذه الحقيقة الأساسية.

ولسوء الحظ فقد تباطأت الولايات المتحدة في التأقلم مع هذا الواقع الجديد. وكما سجل ديفيد هالبرستام من صحيفة «نكست سينشري»، فإن اقتصاد الولايات المتحدة قد استنزف في الحرب الباردة، فالحرب الباردة لم تقصم ظهر الاتحاد السوفييتي فقط، وإنما أهدرت تريليونات الدولارات من الموارد النادرة من اقتصاد الولايات المتحدة، وأكثر من ذلك فإن عدد حملة الدكتوراه في العلم والهندسة أقل بنسبة ٥٠ في المائة مما كان عليه منذ عقدين. ويتم في أنحاء عدة من الولايات المتحدة تخفيض ميزانيات البحث العلمي، وأصبح تسريح أفضل العلماء من العمل رمزا للبحث قصير النظر عن أرباح على المدى القصير. (إن أحد الأسباب التي أبقت المؤسسة العلمية في الولايات المتحدة قوية - كما هي عليه - هو التدفق الكبير للمهاجرين المتعلمين، الذين يمثلون - على سبيل المثال - حصة كبيرة من حملة الدكتوراه العاملين في وادي السيليكون. ولكن مع الجدل الحاد الحالي حول الهجرة، فإن هذه المصادر سوف تنضب قريبا مما يترك الولايات المتحدة بقاعدة علمية فارغة).

والقضية الأخرى هي الحالة البائسة لتعليم العلوم. فالطلاب في الولايات المتحدة يحصلون بشكل مستمر على أدنى الدرجات في كل امتحان علمي دولي. ومن غير المحتمل أن يتغير هذا. ويكتب ثارو: «بصراحة فإن الآفاق الزمنية للرأسمال الخاص هي بكل بساطة قصيرة جدا بحيث لا تتسع للمدة الزمنية الضرورية للتربية والتعليم.

وباختصار، فإن الولايات المتحدة تلتهم بذورها العلمية الخاصة، ولا يمكن إعادة بعث القوى التي جعلت من الولايات المتحدة قوة عظمى في القرن العشرين إلا بتغيير الأولويات الوطنية. ولكن هذا لا يتطلب استثمارا أكثر في العلم، فقط، وإنما أيضا تغيير تأكيدنا على الحصول على مردود فوري على المدى القصير. ويكتب ثارو أيضا: «التكنولوجيا والأيديولوجيا أسس رأسمالية القرن الحادي والعشرين. وتجعل التكنولوجيا المعرفة والمهارات المصادر الوحيدة للتفوق الإستراتيجي المستدام، وتتحرك الأيديولوجيا مدفوعة بالوسائط الإلكترونية نحو شكل جذري من تعظيم الاستهلاك الفردي على المدى القصير تماما، في الوقت الذي سيعتمد فيه النجاح الاقتصادي على الاستعداد والمقدرة على تقديم استثمارات اجتماعية - على المدى البعيد - في المهارات والتعليم والمعرفة والبنية التحتية. وعندما تفترق التكنولوجيا عن الأيديولوجيا فإن السؤال الوحيد هو: متى سيحدث (الشيء الكبير) (أي الهزة الأرضية التي ستطيح بالنظام).

إن الرابحين الحقيقيين في القرن الحادي والعشرين هم تلك الأمم التي تستثمر إستراتيجيا في العلم والتكنولوجيا، فبعد الحرب العالمية الثانية استطاعت ألمانيا واليابان - على سبيل المثال - إتمام أحد أعظم عمليات النهوض نجاحا في التاريخ، ويرجع أحد أسباب ذلك إلى أن أفضلهم وأذكاهم لم يعمل على القنبلة الهيدروجينية، ولكن على سيارات أفضل وعلى راديو الترانزستور. أما في الولايات المتحدة فإن وزارة الدفاع تمتص غالبا أفضل العقول العلمية، وتستخدم هذه المواهب في إنتاج أجيال جديدة من الأسلحة. إن إعادة توجيه ولو جزء بسيط من الميزانية العسكرية إلى العلوم النظرية يمكن أن يكون له تأثير عميق في تطوير التكنولوجيا. وكما هي الحال بالنسبة لسوق العمل، فسيكون هناك رابحون وخاسرون بين الأمم في القرن القادم. وسيكون الرابحون أولئك الذين لا يرون الكمبيوتر عدوهم، بل أداة يستطيعون بواسطتها إعادة النهوض بقاعدتهم العلمية والتكنولوجية، وخلق صناعات جديدة تمتص أولئك الذين يتركون عادة بلا عمل. وسيكون الخاسرون هم أولئك الذين يحطمون الآلات، ويتصارعون فيما بينهم حول الحصص المتضائلة من الثروة، ويتخبطون في الاستحقاقات والمكاسب ذات المدى القصير.

مخاطر الإنسان الآلي: أجهزة الإنسان الآلي ذات الوعي الذاتي

قد تتحول طبيعة النقاش جذريا بحلول العام ٢٠٥٠ مرة أخرى، عندما يدخل صنف جديد تماما من الآلات إلى السوق، ألا وهو أجهزة الإنسان الآلي، التي تتمتع بقدر من الإدراك الذاتي، وقد يمثل هذا الطور الخامس في تطوير الآلات الحاسوبية. ما الذي يحدث عندما تفترق مصالح الإنسان الآلي عن مصالح الإنسان؟ هل تستطيع أجهزة الإنسان الآلي أن تؤذينا ولو بالمصادفة؟ هل من الممكن أن تسيطر علينا؟ وهنا يصطدم الذكاء الاصطناعي مع الخيال العلمي، لأننا نتعامل الآن مع آلات تمتلك إرادة مستقلة ومسلحة بقدرات عقلية وفيزيائية جبارة، قد تتفوق بسهولة على قدراتنا. والميزة هنا هي أنه باستطاعتها أن تطور أوامرنا البشرية معطية إستراتيجيات لم تخطر ببال مخترعيها من البشر، ويمكن أن يفتح هذا حقولا جديدة للعلم والصناعة. ولكن المشكلة هي أنها، مع ذلك، يمكنها أيضا أن تناقض الأوامر البشرية، وبالتالي تشكل خطرا على البشر. إن هذا ليس قضية من قضايا التخمين البحت، فقد أولى الباحثون في مجال الذكاء الاصطناعي هذه المسألة الكثير من التفكير.

ويكتب خبير الذكاء الاصطناعي دانييل كريفر «عندما تمتلك الآلات ذكاء يتفوق على ذكائنا، فمن المستحيل إبقاؤها مطيعة. فالحوادث التي ثار فيها نائب ليصبح الحاكم الفعلي لبلد ما حدثت مرات لا تعد في التاريخ. إن تطور الحياة على الأرض في حد ذاته ليس إلا قصة أربعة ملايين سنة من أجيال تتجاوز آباءها. والتقدم المستمر للذكاء الاصطناعي يضطرنا إلى أن نسأل السؤال المحتم: هل نحن بصدد خلق الأصناف التالية من الحياة الذكية على الأرض؟ أو كما قال آرثر كلارك «هناك عنصر من الخوف، لأن هذا الأمر يتحدانا ويهددنا ويهدد تفوقنا في مجال نعتبر أنفسنا فيه أرفع من كل السكان الآخرين على هذا الكوكب». ويوافق هانز مورافيك على هذا الرأي «إن الآلات الذكية مهما كانت خيّرة تهدد وجودنا، لأنها بمنزلة سكان بديلين لموقعنا الأيكولوجي. وسيكون للآلات التي هي بمستوى ذكاء البشر فقط تفوق هائل في المواقف التنافسية».

وكلما أصبحت أجهزة الإنسان الآلي تدريجيا أكثر ذكاء ومقاربة للبشر في القرن الحادي والعشرين، يمكن أن نبدأ بتعداد الأخطار التي نتوقع مواجهتها. فقد يسمح العلماء لأجهزة الإنسان الآلي أن تمتلك تدريجيا السيطرة على

وظائف كوننا الحيوية. وعلى سبيل المثال، من أجل المحافظة على تدفق حر للبضائع في الاقتصاد، إضافة إلى مراقبة توزيع الطاقة والتحكم فيه، فقد يعطي البشر مقدارا كبيرا من التحكم في البيئة والاقتصاد لأجهزة الكمبيوتر. وإذا تأملنا (تجارة البرامج) في سوق وول ستريت، فبما أن البشر بطيئون جدا في استغلال التغيرات الصغيرة الفائدة في أسعار العملات، فقد تركت شركات وول ستريت مئات الملايين من الدولارات بين أيدي أجهزة الكمبيوتر، وبما أن هذه الأجهزة تتنافس مع بعضها البعض، فإن أصغر تغير في معدلات الفائدة قد يطلق هياجا إلكترونيا كالذي تسبب في انهيار وول ستريت عام ١٩٨٧. والمشكلة ليست في أن الكمبيوتر غير ناجح، ولكنها في أنه ناجح جدا.

وفي الوقت الحاضر فإن هذه المسألة لا تزال بسيطة بما يكفي، بحيث يمكن تطويرها بتغييرات بسيطة في قواعد التعامل من قبل هيئة البورصة والأوراق المالية والتجارة، ومن المؤكد تقريبا أنه ستستخدم أنواعا معينة من الذكاء الاصطناعي في المستقبل، لتحليل الاتجاهات في المال والتجارة والأسهم. ومن المعقول أنه في منتصف القرن الحادي والعشرين فإن قدرة الكمبيوتر اللازمة لتشغيل مدن ودول بكاملها: بما في ذلك الكهرباء والمصارف والتجارة والنقل والماء وتصريف الفضلات ودعم الحياة... إلخ ستصبح ضخمة جدا بحيث قد تؤدي لترك المجتمع هذا الأمر بالكامل لأجهزة الكمبيوتر والإنسان الآلي. وستقوم حفنة قليلة فقط من المهندسين بخدمة هذه الأجهزة، التي تمتلك بدورها المعرفة الضخمة اللازمة لتشغيل المدينة بشكل جيد. وقد يؤدي أي خلل في دوائر النظام إلى تعطيل أو شل حضارة بكاملها: فكلما أصبحت المعلومات أكثر مركزية سَهُلَ تعطيلها.

الإنسان الآلي قاتلا

إن أحد الأسباب التي تجعل أجهزة الإنسان الآلي تشكل خطرا، هو أن الهدف الرئيسي منها كان عسكريا، أي أنها صممت خصيصا لقتل البشر الآخرين. وقد كان أكبر ممول لها هو البنتاجون، الذي مول بسخاء عددا من مشاريع الذكاء الصناعي مثل مشروع تشيكي لغرض وحيد هو الانتصار في الحرب. وربما كان التهديد الأكبر في رأي باحثي الذكاء الاصطناعي يأتي من التحكم في أسلحتنا النووية من قبل أنظمة الكمبيوتر: التي تشتمل على قدرات ذكاء اصطناعي ذاتي.

وقد طُرح هذا المشروع عام ١٩٧٠ في فيلم «الضخم» Colossus: The Forbin Project، والمأخوذ عن رواية لـ «د. ف جونز»، حيث تسلم الولايات المتحدة التحكم بأسلحتها النووية لكمبيوتر فائق سمي الضخم (على اسم آلة تورنج التاريخية).

لقد استبعد بعض النقاد سيناريو فيلم «الضخم» مدعين أن أجهزة الكمبيوتر هي مجرد آلات تعمل ما نطلبه منها، وبالتالي لا تشكل خطرا قاتلا. ولكن المشكلة هي أن حسابات الحرب النووية سريعة جدا، بحيث قد نتخلى في النهاية - من دون حذر- عن التحكم بأسلحتنا النووية إلى كمبيوتر يمتلك قدرات الذكاء الاصطناعي. وهو السيناريو نفسه الذي لخص في فيلم (ألعاب الحرب)، حيث طلب فيه من كمبيوتر أن يبتدئ لعبة تدعى «حربا نووية حرارية». ولم يستطع الكمبيوتر أن يميز بين اللعبة والحرب الحقيقية، ونتيجة لذلك يحضر لإطلاق الضربة الأولى على الروس. ويقول جوزيف وايزنباوم من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا «لقد تخطينا إلى حد معين تلك العتبة». ويشير إلى أن «بارجة أمريكية خلال حرب الخليج اعتقدت أنها تتعرض لهجوم من طائرة قادمة من إيران، وبالتالي أسقطتها، وقد تبين بعد ذلك أن الطائرة كانت مدنية وتحمل على متنها ٢٣٠ شخصا. ولو علم القبطان بأن الطائرة مدنية لما أمر بالطبع أن تطلق عليها النار».

إن إحدى الوسائل لحل هذه المشكلة - جزئيا - هي تغيير مصدر التمويل للذكاء الاصطناعي. وبما أن البحث في الذكاء الاصطناعي مكلف غالبا، فإن معظم الباحثين فيه يتبعون المصدر الذي يمول بحوثهم، وسوف تتضاءل هذه المشكلة مع الزمن، عندما تقوم المشاريع التجارية بتمويل علماء الذكاء الاصطناعي، وسيكون الهدف عندئذ، هو إرضاء مطالب الزبائن بدلا من إيجاد طرق لقتلهم، ويكمن الحل في اختزال تأثير البنتاجون في مثل هذه البحوث، بدلا من إيقاف البحث الأساسي نفسه. ومع ذلك يثار سؤال مشروع: هل باستطاعة أجهزة الإنسان الآلي أن تقتل حتى حين نبرمجها بألا تفعل ذلك؟

الإنسان الآلي مجنونا

في الفيلم «٢٠٠١» يتعطل نظام الكمبيوتر الذكي في السفينة HAL 9000 خلال مهمة تاريخية إلى المشتري، ويحاول بشكل منظم اغتيال ركاب السفينة.

وفي الجزء الثاني للفيلم والمسمى «٢٠١٠» يعطى أخيرا تفسير لماذا أصبح HAL قاتلا مهووسا. لقد بدأت المشكلة عندما أُعطي تعليمات متناقضة: فمن أجل تنفيذ مهمته أجبر HAL على أن يكذب على طاقم السفينة، ولكن بما أنه لم تكن لديه خبرة في الكذب، فقد تعرضت دوائره لتناقض لا يمكن حله، ومن أجل أن يتوقف عن الكذب على البشر، فقد كان الحل الذي أتى به منطقيا تماما: اقتل البشر وبعدها لن تحتاج إلى الكذب مرة أخرى. إن قراره هذا ليصبح قاتلا جماعيا في الحقيقة مفهوم جدا. فحرف الـ H في HAL يرمز إلى التعلم بالتجربة والخطأ. و(الأنظمة الخبيرة) مثل HAL تعاني ما يدعى (تأثير المنحدر mesa). فطالما بقي نظام خبير ضمن منطقة راحته (أي ضمن المنطقة التي تقع فيها خبرته)، فإنه يعمل بشكل يدعو إلى الإعجاب، ولكن ما إن يجبر النظام على الخروج ولو بشكل بسيط خارج هذه المنطقة (مثل الكذب على البشر)، فإن هذا بمنزلة السقوط من جرف مرتفع أو منحدر: إن النظام ينهار.

إن الأنظمة الخبيرة عندما تواجه مشكلة، خارج مجالها العادي، تستمر بشكل أعمى في محاولة حل المشكلة، حتى ولو كان الحل غير ممكن، لأن الآلة لا تتعلم أنها تعمل خارج مجال كفاءتها. والأسوأ من ذلك، فعندما تقع الآلة من المنحدر يمكن أن تحشر ضمن دائرة معلومات مرتدة، تجعل النظام كالمسعور. وبعبارة أخرى فالسيناريو في «٢٠٠١» ممكن حتما بالتحديد بسبب المشاكل الكامنة في رياضيات المعلومات المرتدة، وهو شيء يدعى أحيانا «بمشكلة الاستقرار»: فعلى الرغم من أن الكمبيوتر يبدو كأنه يعمل من دون خطأ، فإن الأخطاء الصغيرة جدا، الموجودة في كل آليات المعلومات المرتدة، يمكن أن تتفاقم حتى ينهار النظام. وكما لاحظ دانييل كريفر «إن نتائج هذه الخطوات الخالية من الأخطاء ستؤدي إلى تصرف غير عقلاني وغير متوازن: أي الجنون».

ونمتلك نحن البشر بالطبع مجالا واسعا من آليات المعلومات المرتدة التي تحمينا من الخطر، وتساعدنا على التكيف مع البيئة، وهذا هو السبب في أننا نملك خمس حواس وعقلا لتقويم الرسائل منها. ومع ذلك يمكن لدوائر المعلومات المرتدة أن تحطم البشر أيضا. وعندما (ينهار) أحدنا، فإن هذا يعود أحيانا إلى معلومات مرتدة خرجت عن حدود سيطرتنا.

وبالمثل هناك دائما خطر من أن تمر أنظمة الذكاء الاصطناعي، التي عهدنا إليها بالتحكم في أسلحتنا النووية، ومواردنا النقدية وأجهزة الإبقاء على الحياة

وتزويد مدننا بالطاقة... إلخ، بدائرة مغلقة من المعلومات المرتدة ذات عواقب خطيرة على حياة الإنسان. ويقول كريفر «إن علينا أن نأخذ بعين الاعتبار احتمال الجنون واللاعقلانية قبل أن نسلم المسؤوليات لآلات ذكية في المستقبل. «وليس هناك حل بسيط لمشكلة «الجنون» في أنظمة المعلومات المرتدة. وبدلا من ذلك على العلماء أن يصمموا آليات أكثر تطورا لإيقاف النظام قبل أن يجن.

هل تستطيع ثلاثة قوانين أن تحمينا؟

لقد حاول كتّاب الخيال العلمي، مثل إسحق عظيموف، أن يزيلوا قدرة أجهزة الإنسان الآلي على قتل سادتها من البشر بوضع ثلاثة قوانين مباشرة داخل برامجها وهي:

(١) لا يجوز للإنسان الآلي أن يجرح كائنا بشريا، أو يسمح من خلال تعطله أن يتعرض كائن بشري للأذى.

(٢) على الإنسان الآلي أن يطيع الأوامر التي تُوجه إليه من البشر، إلا عندما تتعارض هذه الأوامر مع القانون الأول السابق.

(٣) على الإنسان الآلي أن يحمي وجوده، مادامت هذه الحماية لا تتعارض مع القانونين الأول والثاني.

غير أن هناك عنصرا مفقودا تماما في القوانين الثلاثة، وهو أن أجهزة الإنسان الآلي قد تهدد البشرية سهوا عند تأديتها للأوامر بشكل جيد. وإذا أخذنا القوانين البيروقراطية التي تشبه القوانين داخل دماغ الإنسان الآلي. فالبيروقراطية تميل إلى التوسع، وأحيانا إلى الحد الذي تحطم فيه الأساس الاقتصادي، الذي جعلها ممكنة في المقام الأول. ولقد كتب عدد من الاقتصاديين ـ على سبيل المثال ـ أن الانهيار المفاجئ للاتحاد السوفييتي السابق، يعود جزئيا إلى رد فعل البيروقراطية على سباق التسلح: لقد أعطت القيادة السوفييتية بيروقراطيتها هدفا وحيدا، وهو اللحاق بالغرب في سباق التسلح، وعندما أعطيت البيروقراطية هذه المهمة الوحيدة فقد نفذتها بكل أمانة، حتى عندما أدى ذلك إلى استنزاف الاقتصاد ببناء أسلحة نووية مكلفة، مما أدى إلى انهيار النظام بكامله.

وبمعنى ما، فقد سقطت البيروقراطية ضحية الإستراتيجية القديمة للجناح اليميني ، وهي «جعل الروس ينفقون أموالهم حتى الركود»، أي نفقات ضخمة من

قبل البنتاجون تجبر الروس الذين يمتلكون قاعدة اقتصادية محدودة على بناء أسلحة مماثلة، مما يحطم اقتصادهم. ولم تكن المشكلة في أن البيروقراطية فشلت في مهمتها، ولكن في أنها نجحت فيها بامتياز، بحيث حطمها ثقل نجاحها لتذهب إلى زوايا النسيان.

وبالمثل، فإن اقتصادا عالميا تتحكم فيه أنظمة الذكاء الاصطناعي قد يقرر ـ بشكل مشروع ـ أن ينفذ مهمته عن طريق التوسع تماما مثلما فعلت البيروقراطية. وستكون القوانين الثلاثة التي تحكم عمل الإنسان الآلي عديمة الفائدة أمام أجهزة تفكر بشكل مبرر، إنها تنفذ مهمتها الأساسية. والمشكلة ليست في أنها فشلت في تنفيذ الأوامر الصادرة لكل منها، بل في أن أوامرها كانت مخطئة ذاتيا في المقام الأول. وليس هناك أي شيء في القوانين الثلاثة، نعالج فيه الخطر الذي يهدد البشرية من قبل أجهزة إنسان آلي ذات نوايا طيبة.

إن المشكلة في حالة كهذه ليست في الكمبيوتر، بل إنها في البشر الذين يودون أن يضعوا عجائب إلكترونية موضوع التطبيق، قبل أن يضعوا حمايات إلكترونية فيها. يجب أن يبقى الذكاء الاصطناعي ـ على مر العقود ـ ضمن تحكم وثيق، فكلما أصبحت الدوائر أكثر تقدما، تعيّن وضع حمايات أكثر فيها، بحيث لا تنجم عنها عواقب غير مقصودة. ويجب أن تكون هناك دائرة معالجة معلومات مرتدة تضاف إلى تصميم أجهزة الذكاء الاصطناعي، بحيث تمتلك هذه الأنظمة آليات تحميها من الفشل وضوابط مفصلة، بحيث لا تهدد المجتمع البشري. وفي الحقيقة ربما تعيّن خلق فرع جديد من الذكاء الاصطناعي يصمم خصيصا لإبقاء هذه الأنظمة تحت السيطرة، وعلى الأقل فإن هذا يعني ربط أجهزة الإنسان الآلي مع مجال واسع من آليات الحماية، بحيث لا تسيطر على سادتها من البشر أو تستبدلهم. إن القوانين الثلاثة غير كافية، فيجب أن تكون هناك حمايات ضد أجهزة الإنسان الآلي حسنة النية أيضا.

وفيما إذا كانت أجهزة الكمبيوتر ستصبح سادتنا أو مساعدينا الدائمين، فإن هناك أمرا واحدا مؤكدا: إنها لن تندثر، وربما أمكن تلخيص تفكير معظم الناس الذين يعملون في الذكاء الاصطناعي بعبارة لآرثر كلارك: «من المحتمل أن نصبح حيوانات أليفة للكمبيوتر، ونعيش مدللين كالكلاب. ولكنني آمل في أن نحتفظ دائما بالقدرة على قطع التيار الكهربائي متى أردنا ذلك».

الجزء الثالث

الثورة البيوجزيئية

7 شفرات الـ«د.ن.أ» الشخصية

إن المعاهد الوطنية للصحة NIH، وهي أول مجمع طبي في العالم، هي نواة بحث ثوري جديد، سيعيد تشكيل حياتنا بصورة جذرية، في القرن الحادي والعشرين. وهي عبارة عن شبكة متشعبة من المختبرات الحديثة في ضاحية بيثيدا الوارفة الأشجار في ولاية ميريلاند، بالقرب من العاصمة واشنطن. لقد بدأ العمل في هذا المجمع عام ١٨٨٧، على شكل مختبر صحي مؤلف من غرفة متواضعة، وبميزانية صغيرة بلغت ٣٠٠ دولار، وقد توسع منذ ذلك الوقت إلى سبعين بناء تمتد على مساحة ٣٠٠ فدان، وبميزانية سنوية ارتفعت الى ١١ بليون دولار. وربما كان أكثر أقسام المجمع أهمية ومثارا للجدل هو مشروع الجينوم البشري (وهو بشكل رسمي المركز الوطني لبحوث الجينوم البشري). وهو أحد أكثر المشاريع طموحا في تاريخ الطب، وهو برنامج عاجل ميزانيته ٣ بلايين دولار لتحديد كل الجينات داخل جسم الإنسان بحوالى عام ٢٠٠٥. إن الرجل المسؤول

«لقد تعودنا على التفكير بأن مستقبلنا في النجوم، ولكننا نعلم الآن أنه كامن في جيناتنا».

جيمس واطسون

الآن عن مشروع الجينوم البشري، هو فرانسيس كولنز: فعلى كتفيه تقع معظم المسؤولية العلمية والطبية والأخلاقية، للكشف عن سر الحياة. عندما يراه المرء يخيل إليه أنه أمام صورة للممثل (بيتر سيلرز) بقامته الطويلة، التي تبلغ ٦ أقدام و٤ بوصات، وجسمه المشوق ولباسه الأنيق وشاربه الجذاب. ولكنه على النقيض من بيتر سيلرز، يذهب إلى العمل في مجمع المعهد على دراجة هوندا (نايت هوك ٧٥٠)، لابسا جاكيت من الجلد الأسود، وهو بذلك يختلف كثيرا عن صورة العالم المرتبك، أو البيروقراطي الفظ غير المكترث. (لقد علق مرة على الحائط اقتباسا من ونستون تشرشل يقول «إن النجاح ليس أكثر من مجرد المضي من فشل إلى آخر بحماس لا يفتر».

لقد كانت الشهرة العالمية الأولى التي اكتسبها كولنز ناجمة عن عثوره على أهم الجينات، التي بحث عنها في الجينوم البشري، وهو جين (تليف البنكرياس الحوصلي)، وهو أكثر الأمراض الوراثية انتشارا في العنصر القوقازي في الولايات المتحدة. (إن هذا المرض شائع جدا بحيث يوجد عادة طفل واحد حامل لهذا المرض المميت والكريه في معظم صفوف المدارس في الولايات المتحدة). لقد كان قبوله لمنصبه مديرا لمشروع الجينوم البشري، يتطلب منه أن ينتزع نفسه بعيدا عن مختبره المحبوب، ولكن ذلك أعطاه فرصة ليكون جزءا من تاريخ العلم. ولقد ذكر ذلك بقوله «ليس هناك سوى مشروع واحد للجينوم البشري، وسيحدث هذا مرة واحدة في تاريخ البشر، وهذا هو التوقيت الملائم لذلك. ومن دون أن أتظاهر بالتفاخر، فأنني أعتقد أن هذا الاختبار لذواتنا، هو أهم مشروع علمي قامت به البشرية، إنني أشعر كما لو أنني كنت أحضّر كل حياتي لهذا المشروع». إن القدرة الهائلة لجيناتنا، تحدد كل شيء:

من لون شعرنا إلى شكل أنوفنا وكيمياء خلايانا. ولكن العديد من الناس يعتقدون ببساطة أن الجينات تحدد كل شيء.

ويقول كولينز: «من المضحك تقريبا أن ترى الناس هذه الأيام، وهم يتحدثون أحيانا عن هذا الجين أو ذاك بصورة سهلة»، ويقولون: «آه... إنني أملك الجين الذي يجعلني أحب سيارات السبق». وهناك غلاف لمجلة تايم يقول «الخيانة الزوجية، إنها ناتجة عن الجينات، أعني، كن معقولا! فقد تتأثر أنماط التصرف إلى حد ما، ولكن هذا التأثر لن يكن مفهوما دون

معرفة كل تسلسل الـ «د.ن.أ» للجينوم البشري، وعلى الأقل قسم كبير منه». ويشير بقوله: «لن نفهم أشياء مهمة مثل «الحب» بمعرفة تسلسل الـ «د.ن.أ» البشري، ويجب أن نكون حذرين في حماسنا لما نقوم به، والإيحاء بأنه أكثر مما هو عليه. إن هذا سيكون أمرا خطيرا، إذا بدأت البشرية برؤية نفسها كآلة مبرمجة حسب تسلسل الـ «د.ن.أ» هذا، ونكون بذلك قد فقدنا شيئا مهما جدا».

رسم خريطة الجينوم البشري

لقد أعطي كولينز وفريقه مهمة رسم خريطة لـ ١٠٠ ألف جين مستترة ضمن ٢٣ زوجا من الصبغيات في خلايانا حتى عام ٢٠٠٥. ويقول كولينز: «ما لدينا الآن، هو نظام طرق يعود إلى عام ١٨٥٠، وبإمكانك أن تنتقل من مكان إلى آخر، ولكنك قد تجد العملية مرهقة أحيانا. وعليك في أحيان أخرى أن تخرج من السيارة وتمشي». ويضيف إيريك لاندر مدير معهد وايتهيد في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا «ما سنحصل عليه في النهاية سيكون قريبا من تفاصيل شيء، تحصل عليه من معلومات عن الطرق من هيئة الطرق».

لقد تقدم مشروع الجينوم البشري فعلا عن المخطط الزمني، واستنفد ميزانيته نتيجة لقوة الثورات الهائلة في مجالات الكمبيوتر والبيولوجيا الجزيئية والكم الذي أثرت فيه. وتركز العديد من المجالات المتقدمة الكبرى في علم القرن العشرين على هذا المشروع الرئيسي. وخلال عقد من الزمن تسارع البحث عن المورثات بآلاف المرات مع إدخال أجهزة الكمبيوتر ومختبرات الإنسان الآلي والشبكات العصبية. ويمثل هذا أحد الأمثلة المثيرة على التلاقح المتبادل بين الثورات الثلاث، والذي سيمهدالطريق للقرن الحادي والعشرين.

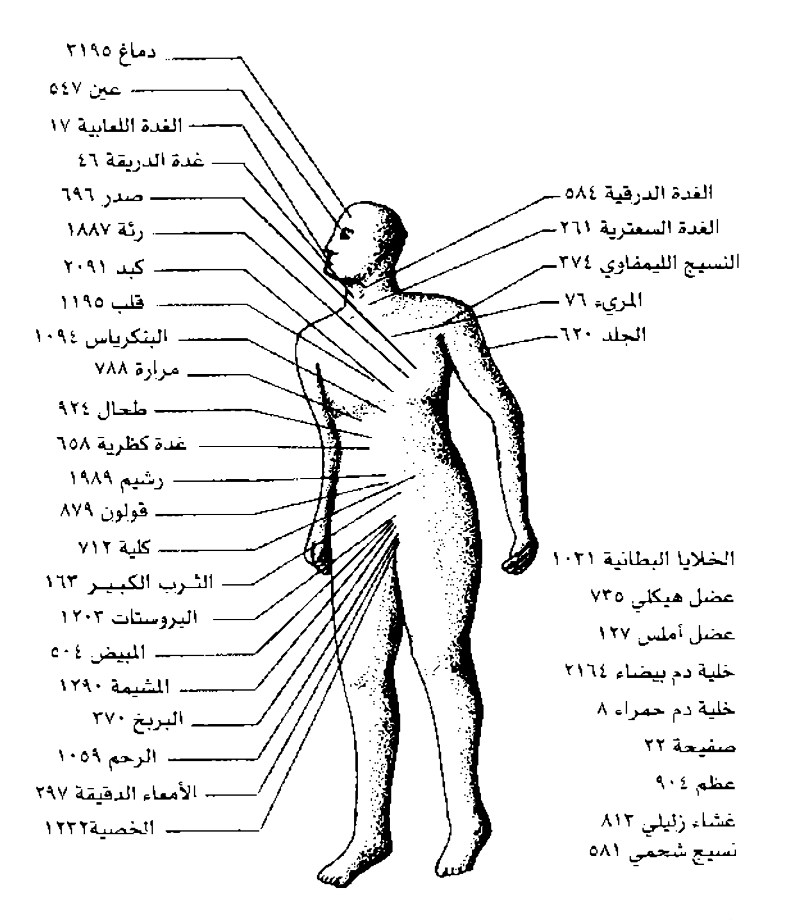
إن العمل في مجال تسلسل الـ «د.ن.أ» أصبح متقدما، إلى درجة أننا نستطيع الآن إعطاء تقديرات جيدة لعدد الجينات، التي تشترك في كل عضو رئيسي من جسم الإنسان، وعلى سبيل المثال، ربما يتطلب العقل البشري ٣١٩٥ جينا، والقلب ١١٩٥ جينا، والعين ٥٤٧ جينا.

إن سرعة تقدم العمل في مجال تسلسل الـ «د.ن.أ» مذهلة، فحتى سنوات قليلة ماضية لم يعرف العلماء إلا موقع عدد محدد من الجينات البشرية، وفي منتصف عام ١٩٩٤ توسعت القائمة إلى ٤٧٠٠ جين أو حوالى ٥ في المائة من المجموع الكلي، وحتى أواخر ١٩٩٦ أُحصي حوالى ١٦٣٥٤ جينا أو حوالى ١٦ في المائة من المجموع الكلي. ويقول كولن: «إذا أخذنا التقدمات المدهشة التي تمت في مجال تسلسل الـ «د.ن.أ»، فإن هذه العملية تنجز بنسبة ٩٩ في المائة في حدود عام ٢٠٠٢ أو ٢٠٠٣، على الرغم من أن الموازنة السنوية كانت ٧٠ في المائة مما اقترح أصلا».

وعند الانتهاء منه، فإن تأثير مشروع الجينوم البشري، يمكن أن يكون أضخم بكثير من اكتشاف مندليف للجدول الدوري للعناصر في القرن التاسع عشر، والذي جلب في النهاية النظام لفوضى المادة، وأدى إلى ولادة الكيمياء الحديثة. فعن طريق تحليل الجدول الدوري، أمكن التنبؤ بعناصر جديدة وبمواصفاتها من لا شيء. ولم يكن بإمكان الحضارة الحديثة، باعتمادها على المعادن والخلائط والمذيبات والبلاستيك والمواد عالية التكنولوجيا، أن توجد من دون الجدول الدوري. وبالمثل، فقد تكون البيولوجيا والطب غير ممكنتين في القرن الحادي والعشرين من دون الخريطة الجينية، التي يقدمها مشروع الجينوم البشري.

تنبؤات للمستقبل

لقد ذكرت أنه من الممكن إجراء تقديرات معقولة إلى حد بعيد، حول تكنولوجيا الكمبيوتر حتى الـ ٢٥ عاما القادمة بسبب قانون مور. وبالمثل ولأن البحث في الـ «د.ن.أ» تحول بسرعة ليتم على الكمبيوتر، واستخدام الإنسان الآلي، فقد حل نموذج جديد من قانون مور أخيرا في البيولوجيا، وهو (أن عدد تسلسلات الـ «د.ن.أ» التي نستطيع تحديدها يتضاعف مرة كل سنتين تقريبا). وكما هي الحال في تكنولوجيا الكمبيوتر، فإن هذا القانون التنبئي الذي كان ناجحا جدا إلى الآن، يجعل من الممكن النظر إلى المستقبل، وإجراء تقديرات معقولة لفترة الحصول على بعض الإنجازات الطبية المهمة. ولأن علم استنساخ الجينات مفهوم جدا، فإن كولينز وزميله والتر جيلبرت الحاصل على جائزة نوبل، وهو من جامعة هارفارد، يتوقعان رؤية السيناريو التالي من الآن وحتى نهاية ٢٠٢٠:



حُدد عدد الجينات لكل عضو بشري تقريبي، وبحلول عام ٢٠٠٥ سيُحدد بشكل كامل التركيب الجزيئي المفصل لكل جين من الـ ١٠٠ ألف جين الموجودة في البشر.

● في حدود عام ٢٠٠٠ يرى جيلبرت أن العلماء سيفكون الرموز الجينية من ٢٠ إلى ٥٠ مرضا وراثيا، سببت ألما لا يوصف منذ فجر البشرية، بما في ذلك تليف البنكرياس الحوصلي، وضمور العضلات والأنيميا المنجلية، ومرض تاي بساكس، ومرض سيولة الدم الوراثي ومرض هنتجتون.

● وفي فترة ليست أبعد من العام ٢٠٠٥ سيفك مشروع الجينوم البشري رموز ١٠٠ ألف جين أو ما يقرب من ذلك ، تشكل الجينوم البشري، مما يحل

هذه الأسرار المسجونة في جيناتنا منذ ملايين السنين. ولأول مرة سيتمكن العلماء من رؤية الشفرة الجينية الكاملة للبشرية.

● وبحلول عام ٢٠١٠ ستزداد الأنماط الجينية للأمراض الوراثية إلى حوالي ٢٠٠٠ أو ٥٠٠٠، مما يعطينا فهما كاملا تقريبا للأساس الجيني لهذه الأمراض القديمة. ويقول كولينز «من المحتمل ـ على نحو لا بأس به ـ أنه بحلول عام ٢٠١٠، عندما تبلغ الثامنة عشرة من العمر، ستستطيع الحصول على طباعة لسجل بطاقتك، عن مخاطرك الشخصية في التعرض للمرض في المستقبل، بناء على الجينات التي ورثتها».

● وبحلول عام ٢٠٢٠ أو ٢٠٣٠، فإن هذا كله سيتراكم في النهاية في شفرات الـ «د.ن.أ» الشخصية. ويدعي جيلبرت «سيمكنك الذهاب إلى صيدلية والحصول على تسلسل الـ «د.ن.أ» الخاص بك على قرص مدمج، حيث يمكنك بعد ذلك فحصها في منزلك وعلى جهاز الكمبيوتر الخاص بك». ويتنبأ جيلبرت أن القرن الحادي والعشرين سيكون زمنا مثيرا، عندما سنتمكن من سحب قرص مدمج من جيب أحدنا ونقول «هنا إنسان... إنه أنا...!» وسيكون هذا القرص المدمج الإنجاز المتوج لبلايين الدولارات من البحث العلمي من قبل مئات من العلماء المتحمسين، الذين يعملون في كتابة «موسوعة الحياة»، والتي تحتوي كل ما يلزم (مبدئيا) لبناء أنفسنا. وعندما يتم إنهاؤها سنحصل على «كتيب تعليمات التشغيل» لإنسان.

وتتردد أصداء الجهد الشديد المؤدي إلى شفرات الـ «د.ن.أ» الشخصية في المختبرات العلمية حول العالم منذ فترة، معطية إيانا الأمل في تغيير منحى الطب. وبحلول عام ٢٠٢٠ يمكن لخريطة من ١٠٠ ألف جين في جينومنا البشري أن تحدث ثورة في الطريقة التي نعالج بها المرض، مما يسمح لنا بخلق أنواع جديدة من المعالجات ومعالجة أمراض مستعصية، كان يعتقد من قبل أنه لا شفاء منها. وسيكون لدى العلماء فيض من التكنولوجيات الجديدة مثل: المعالجة بالجينات و«الجزيئات الذكية» لمهاجمة الأمراض القديمة. ويعتقد العديد من العلماء، أن أصنافا كثيرة من السرطان يفترض أن تكون قابلة للعلاج بحلول عام ٢٠٢٠. ويمكننا أن نتنبأ بشكل معقول أيضا، كيف سيبدو عالم «ما بعد الجينوم» من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠. إن معرفة عناوين الشوارع وأرقام الهواتف للناس في الولايات

المتحدة، لاتنبئك شيئا عن تركيب المجتمع الأمريكي. إن هذا لا يعني أننا نعرف ماذا يفعل الناس من أجل معيشتهم أو كيف تنظم الأعمال والمدارس والحكومة والفنون والعلوم والمؤسسات الأخرى. وبعبارات أخرى، فإن امتلاك الجينوم البشري لا يضمن أننا نعرف، كيف تتفاعل الجينات، وكيف تعمل. ولذا فإن التقدم الانفجاري من الآن وحتى ٢٠٢٠ خادع. ويتوقع العلماء أن يكون التقدم من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ أبطأ، لأنه لا يمكن حوسبة وظيفة الجينات والعلاقات بينها بسهولة. وقد يستغرق الأمر عدة عقود بعد عام ٢٠٢٠، ولكننا سنفهم أخيرا الشبكة المعقدة للعلاقات المتبادلة بين الجينات، وعلى الأخص بالنسبة للأمراض متعددة الجينات والتي تتعلق بأكثر من جين واحد، وكيف تتسبب فيها عوامل من البيئة، بما في ذلك المرض العقلي ومرض الخرف المبكر والتهاب المفاصل وأمراض القلب وأمراض المناعة الذاتية. وعلى لائحة الأمراض متعددة الجينات قد تظهر الشيخوخة المبكرة. إن «جينات السن» التي يعتقد بعض العلماء أنها قد تتحكم في عملية التقدم في السن، قد تقدم الحل لإطالة آجالنا، وقد يعالج الأطباء الشيخوخة في نهاية المطاف، على أنها ظاهرة يمكن إيقافها. وبعد عام ٢٠٥٠ قد نتمكن من التحكم في الحياة نفسها.

الطب الجزيئي

تنبأ جيلبرت بكل ثقة بأن «التعرف على الخريطة الجينية وتسلسل الـ «د. ن.أ» لشخص سوف يقلب الطب رأسا على عقب». هذه الثورة تؤدي إلى نشأة نوع جديد من الطب يدعى أحيانا «الطب النظري» أو «الطب الجزيئي»، الذي يكافح الأمراض على مستوى الجزيئات. وستمكننا المحاكاة بالكمبيوتر والواقع الافتراضي أن نهاجم الفيروسات والبكتيريا عند نقاط الضعف الجينية المحددة في عتادها الجزيئي. ولا يعني هذا، كما يشير إلى ذلك البيولوجيون الجزيئيون بحذر، أنه يمكن اختزال الطب إلى مجموعة من الجزيئات، فهذا خطأ اختزالي. ولكن الثورة البيوجزيئية تسمح لنا بفهم التفاعلات المعقدة بين الجينات والبروتينات والخلايا وبيئتنا، وحتى نفسياتنا.

إن إجراء فحص فسيولوجي اليوم أشبه بالذهاب إلى ميكانيكي غير كفء، يقوم بتشخيص سيارتك عن طريق الاستماع إلى المحرك، فإذا كان المحرك يدور بنعومة، يقول الميكانيكي إن السيارة جيدة تماما، على الرغم من أنها قد تكون على حافة انهيار كبير داخليا، وعندما تقود سيارتك بعيدا عن محطة الوقود قد تفشل كوابحها، أو قد تفقد القدرة على التحكم في مقودها. وبالمثل، فإن الفحص الفيزيائي اليوم يتألف عادة من اختبارات أولية قليلة على جسمك: مثل أخذ عينة من الدم وتحديد ضغط دمك. وما يحدث حقيقة داخل جسمك وخاصة على المستوى الجيني أو الجزيئي غير معروف بتاتا، وحتى بعد اختبار طبي كامل بواسطة جهاز رسم القلب الكهربائي، يظل من الممكن أن تتعرض لنوبة قلبية، بمجرد أن تخرج من عيادة الطبيب. ومن المفارقة أن أفضل تكنولوجيا متاحة اليوم لا يمكنها التنبؤ بالتأكيد، فيما إذا كنت ستسقط ميتا على أرض عيادة الطبيب. وأكثر من ذلك، ففي الوقت الذي يكتشف الطبيب فيه ورما مسرطنا، قد يصبح الوقت متأخرا جدا، فقد يكون هناك مسبقا عدة مئات من الملايين من الخلايا السرطانية، التي تنمو وتنتشر داخل جسمك.

وبالمقابل تصور الذهاب إلى عيادة الطبيب من أجل فحص روتيني عام ٢٠٢٠، عندما يكون الكشف عن الـ «د.ن.أ» الشخصي متاحا. سيقوم طبيبك أولا بأخذ عينة من الدم التي ترسل إلى مختبر جيني، وفي حدود شهر ستكون تحت تصرف طبيبك صورة كاملة عن الـ «د.ن.أ» الخاص بك للاستفادة بها. وسيكون باستطاعة طبيبك أن يحمل هذه الصورة على جهاز كمبيوتر ليحدد بدوره إذا كان لديك مرض من ٥ الآلاف مرض وراثي معروف. وسيستخدم طبيبك أيضا تسلسل الـ«د.ن.أ» للتنبؤ باحتمالات تعرضك لأي من الأمراض المتعلقة بها. وسيكون بمقدوره أن يوصي بإجراءات وقائية قبل سنوات من ظهور أي عرض لهذه الأمراض، ولذا سيكون تسلسل الـ «د.ن.أ» الشخصي لك هوالقاعدة التي تُحلَّل صحتك على أساسها، وقد يشفيك العلاج الجيني من بعض هذه الأمراض، التي كان يتعذر معالجتها سابقا.

ويقول وليام هيزلتاين، أحد العاملين في مجال علوم الجينوم البشري «إننا ندخل حقبة يمكن فيها التنبؤ بالأمراض قبل حدوثها، و«يدّعي» بأن الطب سيتغير من نظام يعتمد على العلاج بشكل أساسي إلى آخر يعتمد على الوقاية»، وسواء أكان ذلك خيرا أم شرا فإن الثورة البيوجزيئية تبشر

بمجموعة مذهلة من التطبيقات، ومن المنتجات المهندسة بيولوجيا، التي ستغرق السوق إلى حد التوصل إلى إمكان التحكم في الحياة ذاتها.

أما فيما يتعلق بكوننا كنا ناضجين بما يكفي للتعامل مع تكنولوجيا بهذه القوة وبهذه الخطورة وتداولها، فإن تلك مسألة أخرى وقد يرحب البعض بهذه الثورة بسبب المزايا التي لا شك فيها والتي ستجلبها في تخفيض الألم والمحافظة على حياة الملايين وإطالتها. أما الآخرون فقد يعارضونها بسبب تجاوزاتها وذلك لأسباب دينية واجتماعية. ولكن حتى أشد المنتقدين لها يعترف بأنها ستؤثر فينا جميعا، على نحو مباشر.

ما هي الحياة...؟

من أجل فهم الخلفية العلمية الخلابة للأبحاث التي ستجعل الكشف عن تسلسل الـ «د.ن.أ» ممكنا عام ٢٠٢٠، قد يكون من المفيد تتبع التحولات الغريبة في حياة فرنسيس كولينز المهنية، والتي تلقي ضوءا كبيرا على أصول البيولوجيا الجزيئية. لقد نفر كولينز من عملية الحفظ عن ظهر قلب الجافة، التي تتطلبها دراسة البيولوجيا، عندما كان طالبا وانجذب إلى دقة نظرية الكم والكيمياء الفيزيائية، وقد استطاع أن يجد في كيمياء الكم رياضيات دقيقة وأنيقة، تتحكم فيها معادلة شرودنجر الموجية، حيث يستطيع المرء أن يحسب كيف تدور الإلكترونات حول النواة، وكيف تتحد الذرات مع بعضها البعض، وكيف تخلق الجزيئات التفاعلات الكيميائية المعقدة، التي تعطي الحياة لأجسادنا. لقد بدت الكيمياء الكمية، كما تذكّر بشغف، «مشبعة عقليا، فلقد جعلتني هذه الدقة الرياضية وهذه الأناقة في وصف الكون، بمعادلات تفاضلية من الدرجة الثانية، أحب ذلك كثيرا، لقد استهوتني تلك القدرة على وصف الحقيقة بهذه الطريقة».

ومع ذلك ومن دون أن يعلم، كانت هناك بداية لهجرة يقوم بها الكيميائيون والفيزيائيون الكميون إلى البيولوجيا، بدأت بظهور كتاب (ما هي الحياة...؟) الذي كتبه عام ١٩٤٤ إرفين شرودنجر أحد مؤسسي نظرية الكم ذاته. ويصف البيولوجي ستيفان جولد كتاب (ما هي الحياة...؟)، على أنه «بين أكثر الكتب أهمية في بيولوجيا القرن العشرين».

لقد كان شرودنجر ـ شأنه شأن كولينز ـ مستاء من الحالة السيئة للبيولوجيا: ففي الوقت الذي كان فيه العديد من البيولوجيين لا يزالون متأثرين «بالإحيائية» (وهي الاعتقاد بأن الكائنات الحية مسكونة بقوة حية سرية وخفية)، أكد شرودنجر بجرأة أنه من الممكن فهم الكائنات الحية بنظرية الكم الذرية، وأن الحياة محكومة بـ «شفرة جينية» (وقد صاغ هو هذه العبارة) محبوسة في ترتيب جزيئاتنا.

وبدل أن تكون الجزيئات مجرد أحجار بناء خاملة لأجسامنا، فإن لها الآن وظيفة ثانية، وهي أن تعمل كمستودعات «لشفرة الحياة». لقد ألهمت المشكلات التي حددت في كتاب «ما هي الحياة...؟» جيلا جديدا من الفيزيائيين لتطبيق نظرية الكم، للمساعدة على حل سر الحياة، بمن فيهم: جورج جامو وباسكال جوردان وحائز نوبل فرنسيس كريك وليناس باولينج وولتر جيلبرت وماكس ديلبروك.

لقد غيَّر كتاب «ما هي الحياة ؟» أيضا حياة طالب شاب مندفع يدعى جيمس واطسون. ويتذكر واطسون «من اللحظة التي قرأت فيها كتاب شرودنجر «ما هي الحياة ؟» أصبحت أركز على إيجاد سر الجين». وفي جامعة كامبريدج عمل واطسون مع الفيزيائي فرانسيس كريك، الذي كان هو الآخر متأثرا بالكتاب بعمق. ولقد حدد عملهما في نهاية المطاف جزيء الـ «د.ن.أ» كامبريدج الذي يحمل (الشفرة الوراثية) التي تحدث عنها شرودنجر.

من فيزياء الكم إلى الـ «د.ن.أ»

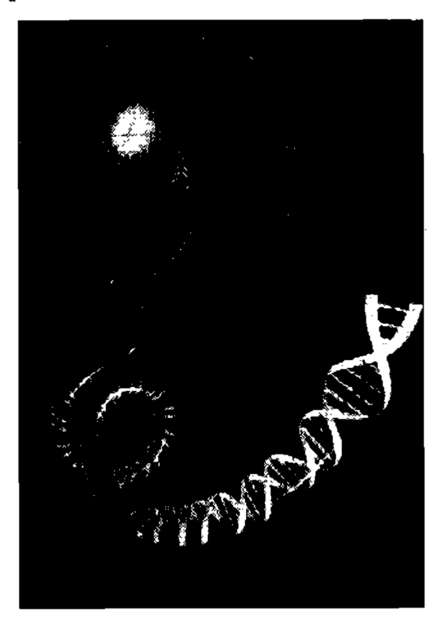
لقد أجرى واطسون وكريك عملهما التاريخي مستخدمين أداة مهمة، استعيرت من فيزياء الكم، وهي تصوير البلورات بأشعة إكس X-ray crystallography ، حيث تطلق حزمة من أشعة إكس خلال عينة بلورية. ولفهم هذه العملية فكّرا في الكرات البلورية المتوهجة، التي تضيء قاعات الرقص والديسكو في أرجاء البلاد، فهذه الكرات مصنوعة حقيقة من مئات المرايا الصغيرة الملصقة على كرة، وعندما يوجه شعاع من الضوء إلى الكرة، وهي تدور، يمتلئ كامل الغرفة بمجموعة مذهلة من النقاط الدّوارة. ويمكنك مبدئيا ـ إذا عرفت موقع كل هذه النقط ـ الرجوع إلى الوراء، وتحديد الموقع الدقيق لكل المرايا الملصقة على الكرة.

إذا استبدلت الآن ذرات في بلورات بهذه المرايا وحزمة قوية من أشعة إكس بشعاع الضوء، فإن هذا سيخلق آلاف الأمواج الصغيرة المبعثرة التي تتداخل مع بعضها وتنتشر في الفضاء. (تنتج الموجة الممتدة من أشعة إكس نمطا من النقاط المضيئة والمعتمة، يمكن التقاطه على أفلام تصويرية خاصة. وداخل هذا النمط من النقاط الفوضوية، ظاهريا، هناك شفرة تتضمن كل المعلومات اللازمة لتحديد الذرات داخل المتبلور. وباستخدام فيزياء الكم لأشعة إكس، يمكن للمرء بعدئذ أن يحدد البنية الذرية الدقيقة للبلورة). لقد استخدمت روزا ليند فرانكلين هذه التكنولوجيا للحصول على صور بمطيافية أشعة إكس الـ «د.ن.أ» المتبلور وباستخدام هذه النتيجة برهن واطسون وكريك على أن الـ «د.ن.أ» يحتوي على «الشفرة الوراثية»، التي تكلم عنها شرودنجر. لقد أظهرا أن الـ «د.ن.أ» يتألف من خيطين لولبيين متصلين بشكل وثيق، ومرتبين على شكل حلزون مزدوج مشكلين جديلة «جزيء الحياة» الشهير. وتقع الجينات التي تشكل أجسامنا على هذين الخيطين من الـ «د.ن.أ» كلآلئ مشعة على خيط، وهي تشكل الـ ٢٣ زوجا من الصبغيات الحبيسة داخل نواة الخلية. وتحزم هذه الصبغيات معلومات كثيرة، بحيث إذا مد الـ «د.ن.أ» في خلية مجهرية صغيرة واحدة فقط، بشكل كامل، فإن طولها سيكون بحدود ٦ أقدام.

وعلى طول هذه الأقدام الست من الـ «د.ن.أ» تقع كل جيناتنا التي يبلغ عددها ١٠٠ ألف جين، وما يميز بين فيروس وسمكة وحشرة وكائن بشري مشفر في طريقة تسلسل هذه الجينات. ويتألف الـ «د.ن.أ» بدوره من وحدات أصغر تدعى الأحماض النووية، التي يوجد منها أربعة أنواع تصنف على أنها G, C, T, A. ومثل درجات على سلم ملتف، فإن الأحماض النووية على طول اللولب المزدوج موجودة على شكل ثنائي، (ويدعى كل نوع من الأحماض النووية «زوجا قاعديا»). إن الترتيب الدقيق لـ G, C, T, A، الموضوعة على طول سلسلة الـ «د.ن.أ» يؤلف شفرة شرودنجر الوراثية.

وقد يتألف الجين الواحد من آلاف «الأزواج القاعدية»، ويقوم كل زوج بإنجاز عمله الساحر المتمثل في تخليق نسخة من ذاته مصنوعة من الـ «ر.ن.أ» RNA، الذي يحتوي بدوره على الشفرة اللازمة لصنع جزيء بروتيني وحيد، (أو

بتعبير أدق يختار ٣ أزواج قاعدية أو كودون codon «وحدة شفرة وراثية» ليحدد الحمض الأميني الذي يعد بدوره لبنة بناء البروتينات). ولأن هناك ٤ أنواع من الأزواج القاعدية فهناك إذن ٤x٤x٤=٦٤ حمضا أمينيا ممكنا يمكن خلقها بواسطة جزيء الـ «د.ن.أ». وبما أن هذا أكثر من عدد الأحماض الأمينية الموجودة في الطبيعة، فإن بإمكان أكثر من كودون codon واحد أن يشفر للحمض الأميني نفسه. إن أجسامنا بدورها مصنوعة من هذه البروتينات، هذا هو المفتاح: فكل جين ينتج بروتينا واحدا، يدور بدوره في الجسم للقيام بوظيفة محددة، كتحريض تفاعلات كيميائية باعتباره إنزيما، أو كلبنة في بناء للأنسجة.



تحتوي نواة خليتنا على ٢٣ زوجا من الكروموزومات المؤلفة من جزيئات الدنا DNA. وتتألف هذه الجينات بدورها من ألوف الأزواج القاعدية المكونة من أزواج الأحماض النووية: A,T,C,G.

حينما كان كولينز طالبا في برنامج الدراسات العليا في جامعة ييل Yale، شعر برياح الثورة التي أطلقتها عملية فك شفرة جزيء الـ «د.ن.أ» : لقد أدرك أن البيولوجيا لم تعد مجرد استظهار لأجزاء الزهرة، فلقد كانت البيولوجية تمر بتغير عميق، يشبه الولادة الأسطورية لميكانيكا الكم التي تعود إلى عام

١٩٢٥، ويقول في ذلك: «لقد أدركت أن الحقبة الذهبية الحقيقية تحدث في هذا المجال، لقد كنت قلقا من أنني سأدّرس الثرموديناميك لمجموعة من التلاميذ، الذين يكرهون هذه المادة تماما، بينما بدا ما كان يحدث في البيولوجيا مثل ميكانيكا الكم في العشرينيات...، لقد كنت متأثرا تماما بذلك». وعند هذه النقطة اتخذ كولينز أكبر مقامرة في حياته المهنية، وهي تغيير مجال عمله. ومثل طابور من علماء الكم الآخرين قبله، فقد حبس أنفاسه، واندفع غاطسا، ولم ينظر وراءه أبدا.

قراءة شفرة الحياة

مثلما أن استخدام النقش الضوئي هو المحرك للنمو السريع في تكنولوجيا الكمبيوتر، خلال الخمسة والعشرين عاما القادمة، وذلك باستغلال أطوال موجات أقصر فأقصر، فإن المحرك الذي يدفع النمو الانفجاري في تسلسل الـ «د ن.أ» للخمسة والعشرين عاما القادمة، هو أتمتة التكنولوجيات التي قادها أولا فريدرك سانجر و والتر جيلبرت وآلان ماكسام. ولفهم كيف تتم عملية تسلسل الـ «د ن.أ»، وكيف من السهل حوسبتها، تصور العثور على خريطة كنز مكتوبة برموز مشفرة مكثفة بشكل مستحيل. ولفك شفرة خريطة الكنز هذه فقد نقوم بالخطوات الثلاث التالية:

أولا: نقوم بقطع قطع رئيسية من هذه الشفرة بزوج من المقصات من أجل القيام بتحليل مفصل.

ثانيا: نقوم بتكبير هذه القطع بعدسة مكبرة.

ثالثا: نقوم بالتحديق في العدسات ونقرأ الأحرف المشفرة على كل قطعة.

وهناك مثيل لكل خطوة من هذه الخطوات الثلاث في عملية تسلسل الـ «د ن.أ»، وعلى سبيل المثال، فإن قطع أجزاء من الشفرة يعادل استخدام مواد كيميائية عضوية تدعى «إنزيمات التقييد»، التي يمكنها شطر الـ «د ن.أ» عند نقاط معينة.

(لحسن الحظ فإن هذه الإنزيمات المحددة والمميزة، تنتج بشكل طبيعي بواسطة بكتيريا معينة عندما تكافح الفيروسات شاطرة الـ «د ن.أ» الفيروسية المهاجمة إلى شرائط). ولقد مُيّز حوالى ٤٠٠ من هذه الإنزيمات، وكل واحد

منها قادر على شطر قطعة الـ «د ن أ» عند نقاط محددة، وعلى العلماء في المرحلة التالية أن يكبروا هذه القطع الدقيقة. إن المقابل لعدسة مكبرة هو حقن البكتريا بقطع الـ «د ن أ» هذه (مثل بكتيريا E.coli)، والتي تقوم بصنع ملايين النسخ لهذه الأجزاء بشكل مشابه تقريبا لعملية صنع الكحول بالتخمر.

وفي النهاية فإن المقابل لقراءة الشفرة على هذه القطع هو استخدام جهاز يدعى الفاصل الكهربائي الجيلاتيني لفصل هذه القطع الدقيقة. ولمعرفة كيف يتم هذا الفصل تصور مجموعة من الأطفال تتسابق، بصورة عامة سيكون الأطفال الأثقل أبطأ من الأخف، بحيث يبدأ الأطفال في النهاية بالانفصال. وعند خط النهاية سيكون الأطفال الأخف في المقدمة، يليهم الأطفال الأثقل الذين سيتخلفون في المؤخرة. وبالمثل فإن قطع أو شذرات الجينات الأثقل أو (الأطول) الموضوعة في جيلاتين لزج، تتحرك أبطأ من الجينات الأخف أو (الأقصر)، وبمراقبة هذه القطع وهي تتحرك بتثاقل في جيلاتين داخل حقل كهربائي، يمكنك تمييز القطع الثقيلة من الخفيفة. وعلى «خط النهاية» نرى سلسلة من الحزم، حيث تمثل كل حزمة تراتبا جينيا معينا ذا وزن أو طول محددين. وتخبرنا المسافة بين الحزم عن وزنها النسبي، حيث تكون الأثقل على طرف، والأخف على الطرف الآخر. (وعلى سبيل المثال إذا استخدمنا إنزيما محددا لا يقطع الـ «د ن أ» إلا إذا ظهر G، فإن المسافة التي تفصل كل واحدة من هذه الحزم تنبئنا أين تقع الـ G المختلفة على طول سلسلة الـ «د ن أ» . ويمكننا إعادة العملية بإنزيمات تحديد مختلفة، وبالتالي تحديد موقع كل من الـ « C» والـ «T» والـ «A» بالطريقة ذاتها. وبعد إعادة هذه التكنولوجيا عدة مرات نستطيع أن نقرأ تراتب الـ «G, C, T, A». وفي السابق لم يستطع البيولوجيون سوى التخمين عن الثروات المخبأة ضمن الجين، ولكنهم مع هذا العمل المبتكر، بدأوا بقراءة الشفرة القديمة للحياة لأول مرة في تاريخها الممتد منذ ثلاثة بلايين عام.

ومن السهل جدا أتمتة طرق تسلسل الـ «د ن أ» هذه، ونحن نتوقع بالفعل تسلسل شجرة الحياة لآلاف الأشكال الحية بحدود عام ٢٠٢٠، ولذا فسوف نعرف العلاقة الجينية بين كائنات حية عدة على الأرض، ومتى انفصلت عن بعضها البعض، ولذا فإن تفاصيل تطور الحياة على سطح الأرض، والتي كانت قضية تخمين لا ينتهي، ستختزل إلى رياضيات، وسيعطي هذا معنى جديدا لتعبير «شبكة الحياة».

إن أحد العوامل التي تسرع من هذه العملية هي الاقتصادات البسيطة لتسلسل الجينات، وفي عام ١٩٨٦ صدم جيلبرت المستمعين في مؤتمر كولد سبرنج هاربور، عندما قدر أن تسلسل زوج قاعدي واحد سيكلف دولارا أو ٣ بلايين دولار لكامل مشروع الجينوم البشري. ويتذكر روبرت كوك ـ ديجان من الأكاديمية الوطنية للعلوم ذلك « لقد كان الجمهور مذهولا من توقع جيلبرت، حيث شعر الكثيرون بأنه كان منخفضا جدا، لقد أحدثت تنبؤات الكلفة لجيلبرت ضجة بين الجمهور». وبرغم أن الإدعاء بدا فاضحا عام ١٩٨٦، فإن تقديرات جيلبرت تبدو اليوم مقبولة وحتى محافظة. ففي عام ١٩٩٠ انخفضت الكلفة لزوج قاعدي إلى ١٠ دولارات. ويكلف تسلسل زوج قاعدي واحد الآن أقل من خمسين سنتا، ويستمر هذا السعر في الهبوط كصخرة تهوي. وفي الحقيقة يتوقع العديد من العلماء أنه من الممكن أن تصبح الكلفة بالنسبة لزوج قاعدي بحلول عام ٢٠٢٠ جزءا صغيرا جدا من البنس، مما يجعل عملية تسلسل الـ «د ن.أ» ممكنة اقتصاديا.

عن الجراثيم والفئران والبشر

ليس من المدهش أن تغير المعلومات الأولية التي حصل عليها العلماء حول هذه الجينات فهمنا لأجسادنا ولأصل أنواعنا، وأيضا لعلاقتنا مع بقية مملكة الحيوان بشكل عميق. وعلى سبيل المثال يظهر الجدول في الأسفل عدد الأزواج القاعدية في أشكال مختلفة للحياة على وجه الأرض:

الكائن الحي	الأزواج القاعدية (مليون)
الفيروسات	٠.٠١
coli-E	٥
الخميرة	١٢
الدودة الخيطية	١٠٠
ذبابة الفاكهة	١٨٠
الطماطم	٧٠٠
الفأر	٣٠٠٠
الإنسان	٣٠٠٠

ويقوم العلماء بإكمال تسلسل هذ الكائنات الحية حسب هذا الترتيب تقريبا. لقد أُجري تسلسل جينات الفيروسات، التي هي أبسط الكائنات الحية أولا بشكل كامل، لأنها تتألف من خيوط الـ «د ن أ» والـ «ر ن أ» قصيرة محاطة بأغلفة بروتينية. وفي عام ١٩٧٧ اكتشف فريدريك سانجر وزملاؤه تسلسل الـ «د ن أ» التام للفيروس الأول phi-X174. ولقد اختير هذا الفيروس بسبب بساطته النسبية: فهو يتألف من ٩ جينات فقط مرتبة على صبغي واحد بطول ٥,٣٧٥ زوج قاعدي. وإذا عبر عن ذلك بحسب G,C, T, A، فإنها ستملأ صفحة واحدة فقط من هذا الكتاب بكتابة مكثفة، أما الجينوم البشري فسيملأ بالمقابل ٥٠٠ ألف صفحة.

ويخضع بعض أكبر القتلة في التاريخ مثل الجدري لصائدي الجينات. ومن المعروف أن الجدري يمتلك ١٨٦ ألف زوج قاعدي، وشلل الأطفال ٧٧٠٠ ألف زوج قاعدي، وداء الكلب ١٢ ألفا والحصبة ١٨ ألفا، والإنفلونزا ١٨ألفا، وفيروس البرد الشائع ٧٥٠٠، إن أحد أطول الفيروسات التي ستتم سلسلتها هو فيروس مضخم الخلايا البشري Cytomegalovirus، والذي يمتلك ٢٣٠ ألف زوج قاعدي، ويسبب أعراضا شبيهة بالإنفلونزا.

ويتسارع معدل سلسلة أشكال أخرى من الحياة. وقد تم الوصول إلى المرحلة الحاسمة التالية في أواخر عام ١٩٩٥ عندما كُشف عن الخريطة الجينية الأولى لخلية كاملة: كانت خلية Hemophilius Influenzac تحتوي على ١٧٤٣ جينا موجودا على صبغي دائري وحيد مصنوع من ١٨٣٠١٣٧ زوجا قاعديا. وفي أوائل عام ١٩٩٦ تم تجاوز هذا الإنجاز الضخم عندما فُكت شفرة الجينوم لخميرة الخبز العادية. وتحتوي الخميرة على ١٢,٠٥٧,٠٠٠ مليون زوج قاعدي مقسمة إلى ٦ آلاف جين، مرتبة على ١٦ صبغيا. إن للخميرة أهمية خاصة لأنها تشترك مع البشر في الكثير من جيناتها. وفي عام ١٩٩٧ أعلن علماء في جامعة ماديسون ـ فيسكونسن أنهم اكتشفوا سر جينوم البكتريا E-coli، الذي يحتوي على ٤٦٣٨٨٥٨ زوجا قاعديا و٤٣٠٠ جين. ويحتوي ١٥ في المائة من سلاسل المورثات البشرية أجزاء من جينوم E-coli. ويعمل العلماء حاليا على عدة جبهات، حيث يقومون بسلسلة الـ «د ن أ» لأنواع مختلفة من الكائنات الحية في الوقت نفسه. ونتوقع أن يعلن العلماء في السنوات القليلة القادمة سلسلة الـ «د ن أ» لكائنات حية

أكثر تعقيدا، بما في ذلك الديدان الشريطية (نيما تود) وذباب الفاكهة والفئران وأخيرا البشر (بهذا الترتيب تقريبا)، وستكون محصلة هذه العملية الطويلة سلسلة «د.ن.أ» الإنسان.

شجرة العائلة البشرية

لقد أدت عملية سلسلة الـ «د.ن.أ» البشري إلى مفاجآت عدة، وإحداها كانت قربنا اللصيق جينيا من الحيوانات الأخرى في شبكة الحياة. وبما أن معظم الحياة على الأرض ربما بدأ من جزيء الـ «د.ن.أ» أو الـ «ر.ن.أ» واحد، فإن التقاطع الجيني بين شكلين من أشكال الحياة يعطينا طريقة عددية لحساب قربهما من بعضهما حسب تطورهما. فكلما كان هذا التقاطع أكبر، كانا أقرب إلى بعضهما في شجرة التطور.

إن لرسم شجرة «د.ن.أ» الحياة تطبيقات ضخمة أيضا بالنسبة للطب البشري، وغالبا ما نجد عند الحيوانات جينات شبيهة في وظائفها بالجينات لدى البشر، وتدعى هذه الجينات «الجينات المتماثلة Homologous» (الجينات المتماثلة هي جينات قريبة من بعضها توجد في أنواع مختلفة تماما من الكائنات، ولها جدّ واحد مع ذلك الجين، وتقوم غالبا ـ وليس دائما ـ بأداء الوظيفة ذاتها: فالأجنحة والأيدي مثلا هي أعضاء متماثلة).

إن إيجاد جينات مقاربة لجينات الإنسان في مملكة الحيوان، والتي تكون عادة أقل تعقيدا، يمكن أن يوفر على العلماء آلاف الساعات من البحث في الجينوم البشري. وعلى سبيل المثال، فإن مليون عام من التطور تقريبا تفصل البشر عن الخمائر، وينعكس هذا في حقيقة أن ثلث جينات الخمائر موجود في الإنسان أيضا. ويوجد حوالى ٤٠ في المائة من الجينات في الديدان المدورة في البشر، كما أن التقاطع الجيني بين الفئران والبشر هو في حدود ٧٥ في المائة. وتشير البيولوجيا الجزيئية إلى أن أجدادنا (أي فصيلة الإنسانيات hominids) انفصلت عن فصيلة القرود منذ ما يقرب من ٥ ملايين سنة، ونجد أننا نشترك بكامل الـ ٩٨,٤ في المائة من الـ «د.ن.أ» مع أقرب قريب جيني لنا وهو الشمبانزي. وبتحديد قرب شخصين جينيا يمكننا أيضا تحديد قربهما بالدم. وعلى سبيل المثال، يمتلك التوأم الشفرة الجينية

ذاتها، ولذا فإن «المسافة الجينية» بينهما صفر. (وفي الحقيقة توجد حتى لدى التوأمين المتماثلين اختلافات جينية بعدة دزينات من الجينات، حدثت بتأثير تحولات عشوائية). وإذا قارنا الآباء مع أبنائهم أو الأنسباء، نجد أنهما في المتوسط يختلفان بحدود ٠,٠٥ في المائة في شفرتيهما الوراثيتين (وهذا يعني أن الأقارب القريبين يختلفون بحوالى ١,٥ مليون نوكلوتيد nucleotide). وإذا أخذنا شخصين - لا على التحديد - نجد أن الشفرة الوراثية لكل منهما تختلف متوسطها بضعف ذلك المقدار، أو بحوالى ٠,١ في المائة. ويتلخص هذا الموضوع في الجدول التالي:

الكائن الحي	٪ التقاطع الوراثي مع البشر
E-Coli	١٥
الخميرة	٣٠
دودة شريطية (نيماتود)	٤٠
فأر	٧٥
بقرة	٩٠
شمبانزي	٩٨,٤
إنسان (من غير الأقارب)	٩٩,٩
إنسان من الأقارب	٩٩,٩٥

وبحساب «المسافة الجينية» بين أي شخصين، نستطيع أيضا إعادة إنشاء الملامح العريضة لشجرة عائلة التطور البشري، وعلى سبيل المثال يمكننا حساب أن الجينات في جسم الإنسان تبتعد بمعدل ٢ - ٤ في المائة كل مليون عام. وقد أكد بعض العلماء استنادا إلى هذا، أن البشر ربما تفرعوا من جد مشترك في مرحلة ما بين ١٤٠ إلى ٢٩٠ ألف سنة مضت.

وباستخدام هذه التكنولوجيا يمكننا الآن بناء «شجرة العائلة» الكاملة للجنس البشري، واضعين كل التفاصيل التي ضاعت منذ آلاف السنين من مرحلة ما قبل التاريخ. لقد أعطانا تحليل عدد قليل من البروتينات والجينات - إلى الآن - فهما مدهشا لأصل كل البشر والأنواع في العالم. وبحلول عام ٢٠٢٠ عندما تصبح سلسلة الـ «د ن أ» ممكنة، من المفترض أن تمتلئ شجرة عائلة أجدادنا بكاملها تقريبا، وأن تحتوي على كل الفروع التي نسيت لعشرات الآلاف من السنين.

ولا تقوم هذه الخارطة بملء الفراغات في النظريات اللغوية والأثرية حول أصل البشر فقط، ولكنها تعطينا أيضا التواريخ التي ابتعدت فيها فروع مفقودة من شجرة عائلتنا عن فروع أخرى منذ آلاف السنين قبل السجلات الأولى المكتوبة.

اختبار الـ «د.ن.أ»

على الرغم من أن اكتشاف كل الجينات في الـ «د.ن.أ» البشري يستغرق سنوات عديدة، فإن هناك عدة نواتج لما تم، بدأت آثارها تتضح في المجتمع. وعلى سبيل المثال، من السهل استخدام تكنولوجيا سلسلة الـ «د.ن.أ» لتحديد حفنة من «المؤشرات» الفريدة لكل شخص على الجينوم. ويجعل هذا عملية اختبار الـ «د.ن.أ» مثل عملية بصمة الأصابع في القرن التاسع عشر، ممكنة وجزءا لا يمكن الاستغناء عنه في علم الجريمة. وفي القرن الحادي والعشرين سيستمر استخدام الـ «د.ن.أ» في تطبيقات مهمة في حقول عدة بما في ذلك:

التقاضي في حالات الهجرة والأبوة

تسجل كل عام حوالى ٢٨٥ ألف قضية أبوة في أرجاء الولايات المتحدة، منها ٦٠ ألفا متنازعا عليها، وتحتاج إلى اختبار. ولن تحل كل قضايا الأبوة نهائيا في المستقبل فحسب، وإنما من الممكن تحديد العلاقة الوراثية الدقيقة بين أي شخصين.

حل الحالات التاريخية الغامضة وفضح الاحتيالات

في عام ١٩٩٧ برأ دليل الـ «د.ن.أ» «سام شيبارد» وهو الطبيب الذي اتهم بقتل زوجته عام ١٩٥٤ (والذي أصبحت قصته أساس الفيلم والمسلسل التلفزيوني (الهارب)، كما أنه حدد القاتل المحتمل.

تحليل الـ «د.ن.أ» (الموجود في الجثث القديمة)

يُحلل الآن الـ «د.ن.أ» لـ «رجل الجليد» المتجمد في نهر جليدي منذ آلاف السنين. وتحليل الـ «د.ن.أ» في عدد من المومياوات المصرية القديمة. وقد أعطى هذا معلومات جديدة حول تاريخ الأمراض، والطريقة التي عاش بها الناس القدماء.

تحليل الـ «د.ن.أ» في الكهرمان Amber

يمكن إرجاع عينات الـ «د.ن.أ» من حشرات محفوظة في الكهرمان إلى ما قبل عصر الديناصورات، التي بادت منذ ٦٥ مليون سنة. وقد استخلص (جورج بونيار) من جامعة أوريجون - على سبيل المثال - نسج عضلات من سوسة فاكهة لبنانية عمرها ١٢٥ مليون عام. ويقول بونيار «إن هذا هو أفضل بروتين محفوظ على وجه الأرض». وإلى الآن استخلص الـ «د.ن.أ» بنجاح من حوالى نصف دزينة من العينات القديمة جدا، المحفوظة في الكهرمان.

ولقد كتب الشاعر ألكساندر بوب في قصيدته «هيسبيريدس Hesperides»

رأيت ذبابة ضمن حبة
من الكهرمان مدفونة بشكل واضح،
كانت غرفة الدفن صغيرة، لكنها
كانت أغلى من ضريح كليوبترا

ونحن ندرك الآن بأن الـ «د.ن.أ» في الكهرمان هو حقا أغلى من ضريح كليوبترا.

التنبؤ بالاضطرابات المرضية

صدم عالم التزلج عندما انهار (سيرجي جرينكوف) حامل الميدالية الذهبية الأولمبية مرتين، ومات فجأة إثر نوبة قلبية عام ١٩٩٥، عندما كان في سن الثامنة والعشرين فقط. وقد حلل دمه بعد ذلك عن طريق سلسلة الـ «د.ن.أ» وكما هو متوقع فقد عثر على خلل جيني: لقد كان الجين PLA2 الذي ورثه عن أبيه (والذي مات شابا أيضا) مسؤولا عن توقف قلبه مبكرا.

ومع ذلك فإن أكثر اختبار للـ «د.ن.أ» إثارة للدهشة، كان في مجال بصمة «د.ن.أ» في علم الجريمة. لقد قلبت القدرة على قراءة حفنة قليلة فقط من المؤشرات على عينات الـ «د.ن.أ» دراسة الجريمة رأسا على عقب.

الجريمة والعقاب و الـ «د.ن.أ»

خرج اختبار الـ «د.ن.أ» للوجود فجأة على المسرح العالمي عام ١٩٨٣ بقضية اغتصاب مع قتل مثيرة بدأت في قرية ناربورا في إنجلترا، وبعد عدد

من المنعطفات والعقبات التي مرت بها هذه القضية التاريخية، كان دليل الـ «د ن.أ» حاسما في تبرئة المتهم الرئيسي وتوجيه الاتهام للقاتل الحقيقي. ومنذ ذلك الوقت أصبح لاختبارات الـ «د ن.أ» تأثير عميق على الجريمة والعقاب. وقد قُلبت الأحكام القضائية في ٢٥ في المائة من حالات الاعتداء الجنسي، التي أحيلت إلى المكتب الفيدرالي للتحقيقات FBI منذ عام ١٩٨٩. لقد احتوى قانون السيطرة على الجريمة ـ الذي أصدره بيل كلينتون عام ١٩٩٤ ـ مادة لم ينتبه إليها أحد كثيرا، دعت إلى تشكيل بنك وطني لمعلومات الـ «د ن.أ». ومنذ ذلك الوقت أصدرت ٣٢ ولاية قوانين تلزم نزلاء السجون بتقديم عينات دم أو مني لتحليل الـ «د ن.أ»، ومن هؤلاء بدأت ٢٦ ولاية بإنشاء بنوك بيانات الـ «د ن.أ» الخاصة بها، والتي ستوصل في النهاية مع البنك الوطني للمعلومات.

ومع ذلك سيحدث، بحلول عام ٢٠٢٠، تغيير مهم يجعل بصمة الـ «د ن.أ» «موضة» قديمة. وستخلي حفنة المؤشرات المستخدمة في بصم الأصابع الطريق أمام سلاسل الـ «د ن.أ» الشخصية الأكثر تطورا بكثير. وبصمات الأصابع تمكننا من التعرف على الشخص بمضاهاتها، ولكن بصمة الـ «د ن.أ» تخبرنا كيف يبدو الشخص وتعطينا تاريخه المرضي. وعلى سبيل المثال، فإن فحص (خلية واحدة) من قشرة رأس شخص ما، يجعل من الممكن ـ من حيث المبدأ ـ (باستخدام عملية التفاعل المتسلسل poly merase) وضع صورة كاملة لجينوم هذا الشخص.

والتعرف على سلسلة الـ «د ن.أ» يمكن المرء من إعادة تكوين تفاصيل مهمة عن الشخص، بما في ذلك فصيلة الدم ولون الشعر والعينين والجنس والأمراض الوراثية وشكل الجسم العام والحالة الصحية له، وإمكان تعرضه للصلع والطول والوزن التقريبيين، وحتى كيمياء الجسم. (إن بعض الملامح التي لا تزال أصولها الوراثية غير واضحة، مثل تفاصيل الوجه، لن تتاح حتى عام ٢٠٢٠).

تضافر الجهود بين أجهزة الكمبيوتر وأبحاث الـ «د.ن.أ»

لم تعد عملية سلسلة الـ « د ن.أ» الشخصية، بحلول عام ٢٠٢٠، فكرة خيالية بسبب تضافر الجهود بين ثورة الكمبيوتر والثورة البيوجزيئية.لقد كان

الحجم الضخم من العمل في السلسلة، وفي تحليل ثلاثة بلايين زوج قاعدي، دافعين لهذا التضافر، ودفع العلماء والعاملين في مجال البيولوجيا الجزيئية بصورة محتمة، لالتماس حل لذلك لدى علماء الكمبيوتر.

وقد ذكر ديفيد بوتشتاين «لقد عرفنا دائما أن اليوم الذي تلعب فيه الهندسة دورا حاسما لابد آت. لقد حل ذلك اليوم». إن التقدم السريع منذ إدخال السلسلة في الكمبيوتر مذهل حقا: ففي الثمانينيات استنفدت سلسلة ١٠ آلاف زوج قاعدي من بيولوجي واحد عاما كاملا، وفي عام ١٩٩٢ استطاعت آلة واحدة أن تحلل العدد ذاته من الأزواج القاعدية في يوم واحد. ويتنبأ ليروي هود من جامعة واشنطن، أن العلماء سيتمكنون في حدود عام ٢٠٠٢ من أن يسلسلوا من ١ إلى ١٠ ملايين زوج قاعدي في اليوم لكل فني، ويمثل هذا تقدما بمعدل ثلث مليون ضعف خلال عقد واحد فقط من السنين.

إن أضخم مستودع لتسلسل الجينات لكل أشكال الحياة في العالم اليوم، هو بنك الجينات الموجود في المختبر الوطني في لوس الاموس (بدأ هذا البنك عمله في عام ١٩٨٢، من قبل الرياضي ستانسلو أولام، الذي اشتهر سابقا بالمساعدة في صنع القنبلة الهيدروجينية مع إدوارد تيلر. لقد سحر أولام، مثله مثل شرودنجر وديلبروك وباولينج وكريك وجامو وجوردان وجيلبرت من قبله، بقدرة فيزياء الكم على كشف شفرة سر الحياة. ويرسل العلماء من كل أنحاء العالم سلاسل الـ «د ن.أ» لديهم بواسطة البريد الإلكتروني إلى كمبيوتر لوس ألاموس، الذي يعمل كمركز ضخم لاستقبال وإرسال المعلومات الجينية.

وبحدود ١٩٩٠ تمت سلسلة ٦٠ مليون زوج قاعدي، وخزن ٥٠ مليون زوج قاعدي (ربعها من البشر) في بنك الجينات. وبحلول عام ١٩٩٧ احتوى بنك المعلومات على أكثر من ٨٤٣ مليون زوج قاعدي. وحتى نفهم بوضوح لماذا ستحل أجهزة الكمبيوتر والإنسان الآلي محل البشر في سلسلة الـ «د ن.أ» تصور الـ «د ن.أ» كشريط طويل يمتد في الأفق، وعلى هذا الشريط خطوط صغيرة بعرض «١مم» فقط، أي بسُمك خط قلم الرصاص. وبهذه المحاكاة يمثل كل شريط زوجا قاعديا واحدا. وبمثل هذا الحجم، فإن شريطا يمثل الـ « د ن.أ» الخاص ببدودة سيمتد مسافة ١٢٠ ميلا، وسيمتد الشريط الذي يمثل الجينوم البشري ١٦٠٠ ميل، أو نصف عرض الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا.

ويسجل روبرت واترسون، وهو رياضي يشغل الآن منصب مدير عملية السلسلة في أضخم مركز للـ « د ن.أ » في الولايات المتحدة، موجود في جامعة واشنطن في سانت لويس: «مع كل عمليات السلسلة هذه لم نصل خلال السنوات السابقة ولو إلى منتصف الطريق إلى كولومبيا (والتي تبعد ١٦٠ ميلا عن سانت لويس). ويعترينا التهور الآن لنقترح أن الوقت حان للذهاب إلى لوس أنجلوس (على بعد ١٦٠٠ ميل)». ومع ذلك فإن مجموعة واترسون تسلسل كل أسبوع حوالى ٢٧ ألف شفرة للـ «د ن.أ» كل منها مصنع من ٥٠٠ نيوقلوتايد (Nucleatides)(*). وهو يأمل أن يزيد ذلك إلى ٤٠ ألفا كل أسبوع، وذلك خلال عام واحد، ويقول «لقد قدّرنا أنه من أجل أن ننجز ثلث الجينوم البشري خلال ٥ ـ ٦ أعوام، علينا أن نحصل على قراءات لـ ٨٠ إلى٩٠ ألفا في الأسبوع».

مولد علم جديد: البيولوجي الحاسوبية

لن يحزم علماء الكمبيوتر ـ الذين عملوا في سلسلة الـ « د ن.أ » حقائبهم ويعودوا إلى منازلهم ـ عندما ينتهي المشروع عام ٢٠٠٥، ذلك لأن مشروع الجينوم البشري هو البداية فقط لعلم جديد تماما. ويقول ريتشارد كارب، أحد أشهر علماء الكمبيوتر في الولايات المتحدة، من جامعة واشنطون: «إن هذا يحول البيولوجيا إلى علم معلوماتي، إن الكثير من البيولوجيين يعتبرون الحصول على سلسلة عملية مملة، ولكن هذه من وجهة نظر علم الكمبيوتر أسئلة خوارزمية (لوغاريتمية) ضخمة ومن الدرجة الأولى».

لقد اجتاح علم الكمبيوتر عالم البيولوجيا لأول مرة عام ١٩٨٣: ففي ذلك التاريخ هز راسل دوليتل وزملاؤه عالم البيولوجيا الجزيئية المغلق باكتشاف بيولوجي مهم، تم ببساطة عن طريق قراءة نسخ مطبوعة على الكمبيوتر، لقد استطاع دوليتل أن يجد تماثلا بين نوعين مختلفين من البروتين، يقعان ضمن مجالين مختلفين من مجالات البيولوجيا من دون إجراء أي تجربة: جين sis السرطاني وعامل النمو الخلوي. لقد لاحظ مع زملائه أن سلسلة الـ « د ن.أ » الموجودة في هذا النوع من السرطان، هي سلسلة الـ «د ن.أ» ذاتها الداخلة في

(*) النيوقلوتايد: وحدة بنية الـ «د. ن.أ».

نمو الخلايا، مظهرا بالتالي أن الجينات السرطانية ولّدت نموا غير طبيعي في الخلايا لكن ما هكذا تعمل البيولوجيا. ولقد سأل روبرت كوك ديجان من أكاديمية العلوم الوطنية السؤال البليغ التالي:

«لماذا استطاع دوليتل أن ينشر اكتشافا رئيسيا بمجرد جلوسه عند جهاز كمبيوتر؟». لم تكن هناك بيولوجيا! أليس كذلك؟».

لقد كان هذا الاكتشاف المثير إيذانا ببداية استخدام أجهزة الكمبيوتر في تمييز أنماط معينة في سلاسل الـ «د.ن.أ»، بدلا من توسيخ يدي المرء بالبروتينات وأنابيب الاختبار. ويلاحظ كوك ديجان «لقد حول إدخال الكمبيوتر في البيولوجيا السلطة إلى أيدي أولئك الذين يتمتعون بقدرات رياضية ومعرفة كمبيوترية: لقد بدأ جيل جديد من العلماء بالظهور من بين الصفوف، يتمتع بخبرة في مجال البيولوجيا الجزيئية والكمبيوتر والتحليل الرياضي».

كان علماء البيولوجيا في الماضي يدرسون الحياة بتحليل ما يوجد داخل العينات الحية (أي في الجسم الحي in vivo)، وفي القرن التاسع عشر تعلموا أن يدرسوا الحياة في زجاج (أي في أوعية زجاجية in vitro)، أما في المستقبل فسيدرسون الحياة عبر الكمبيوتر (أي في السيليكون in silico).

الـ «د.ن.أ» على شريحة

كيف ستبدو عملية السلسلة عام ٢٠٢٠؟ هل ستكون لدينا آلاف من الأفدنة المخصصة لوجود أجهزة كمبيوتر عملاقة، ومصانع تعمل بالإنسان الآلي تسلسل الـ « د.ن.أ» البشري؟ من الجائز ألا يكون الأمر كذلك. وكما أن مستقبل تكنولوجيا الكمبيوتر يكمن في عملية التصغير عبر الشريحة الدقيقة، فإن العديد من العلماء يشعرون بأن مستقبل سلسلة الـ «د.ن.أ» سيكون في «الشريحة البيولوجية» و«شريحة الـ «د.ن.أ»»، وذلك عن طريق اتحاد عظيم بين ثورتي الكمبيوتر والبيولوجيا الجزيئية.

والشريحة البيولوجية عبارة عن شريحة دقيقة، صممت خصيصا لإجراء بحوث «التماثل» بين جينات حيوانية وبشرية متشابهة. إن هذه الشريحة البيولوجية تفيد البيولوجيين كثيرا، لأنه لو عرف أن سلسلة جينية معينة ـ في

حيوان ما - تتحكم في بروتين معين، فإن البحث عن مثيلتها في البشر ينقص من عملية التخمين التي تدخل في تحديد جينات بشرية غير معروفة. وفي المستقبل، وبالانسجام مع قانون مور، ستسيطر الشريحة البيولوجية في النهاية على عمليات تحليل الـ «د.ن.أ».

لقد صُنعت مسبقا شريحة بيولوجية أولية بعرض رُبع بوصة وتحتوي على٤٠٠ ألف ترانزستور، وهي بحسب ليوري هود «أعقد شريحة قام مختبر المحرك النفاث في كالتك بتصميمها». وهي أسرع بحوالى ٥ آلاف مرة من محطة سبارك الشمسية. وعندما أعطي الأمر إلى كمبيوتر محطة سبارك بتحديد سلسلة من ٥٠٠ قاعدة من بين ٤٠ مليون قاعدة، استغرق ذلك منه ٥ ساعات، بينما استغرق الأمر من الشريحة ٣,٥ ثانية.

ويتقن العلماء الآن أيضا صنع شريحة «د.ن.أ» دقيقة، يمكنها أن تفحص فورا الـ «د.ن.أ» لأي شخص بحثا عن جينات مختارة. ويمكن لشرائح الـ «د.ن.أ» التي ستدخل السوق قريبا، أن تبحث عن الـ « HIV » والسرطان وآلاف الأمراض الوراثية خلال ساعات. وقد تحدث هذه الأداة التشخيصية الجديدة ثورة في صناعة تجهيزات التشخيص الطبي التي تبلغ ١٧,٥ بليون دولار. ومع إدخال شريحة الـ « د.ن.أ» فإن حلم جيلبرت بسجلات الـ «د.ن.أ» «الشخصية» التي تحتوي كل جيناتنا لم يعد خيالا. وهناك عدد من الشركات التي بدأت عملها في مجال التكنولوجيا البيولوجية، والتي تتسابق لقراءة الـ «د. ن. أ» الخاص بنا عن طريق فحصها على شرائح دقيقة. إن الدمج بين أجهزة الكمبيوتر والبيولوجية الجزيئية على شريحة الـ «د.ن.أ»، قد يكون إيذانا ببدء عهد جديد من عملية الفحص السريع والرخيص للجينات.

وتبدو شرائح الـ «د.ن.أ» للعين المجردة غير مميزة، فهي بحجم ظفر الأصبع، وتبدو مشابهة كثيرا للشريحة الدقيقة المستخدمة في معظم أجهزة الكمبيوتر الشخصية. ولكنك سترى تحت المجهر نموذجا غير عادي. وبواسطة تكنولوجيا النقش الضوئي نفسها المستخدمة في نحت أخاديد مجهرية على ترانزستورات صغيرة، يستخدم العلماء قوالب تنقش عليها الخطوط الرئيسية لجدائل الـ «د.ن.أ»، الخاصة بمجموعة محددة من الأزواج القاعدية. وعن طريق تمرير محلول من الـ «د.ن.أ» على هذه القوالب، فإن السلاسل المتبقية هي التي تناسب بدقة كل اختبار.

والحيلة هي أن أنواع جدائل الـ «د.ن.أ» التي تلتصق بالشريحة الدقيقة، هي فقط تلك التي تنطبق بدقة على نموذج القالب المحفور على الشريحة، أما الأنواع الأخرى فتنجرف بعيدا، ويقوم الليزر بجعل بعض هذه السلاسل متوهجة، كما يقوم جهاز كمبيوتر بإجراء التمييز النهائي. وتسوّق مؤسسة آفيمتركس منذ مدة شريحة تحتوي ٦٥,٥٣٦ مسبرا محفورا عليها، حيث يمثل كل مسبر قالبا لثمانية أزواج قاعدية. ويدعي روبرت ليبشوتر مدير التكنولوجيا المتقدمة في الشركة «لقد أنتجنا فعلا نموذجا أوليا لشريحة تحتوي على مليون مسبر». لقد نجحت شركة آفيمتركس في وضع كل جينات الـ HIV على شريحة الـ «د.ن.أ»، مما يسرع من فحص الإيدز بشكل كبير.

إن إمكانات شريحة الـ «د.ن.أ» التي تضغط معملا كاملا على شريحة واحدة ضخمة جدا، ويمكن للمرء مسبقا أن يستخدمها لعملية تحول P53 الخطيرة، والتي تدخل في أكثر من نصف أنواع السرطانات. ويمكن الكشف عن تليف البنكرياس الحوصلي الذي يحصل في أكثر من ٤٥٠ تحولا مختلفا بواسطة شريحة الـ «د.ن.أ» في عدة ساعات بكلفة لا تتجاوز بضعة دولارات، (إن العملية التقليدية في تحديد جينات التليف هذه مكلفة جدا، وتستغرق أسبوعا على الأقل).

حقبة ما بعد الجينوم: من ٢٠٠٢ وحتى ٢٠٥٠

من المفترض أن يستمر التقدم السريع نحو سلسلة الـ «د.ن.أ» بثبات، ومن دون انحسار على مدى الخمسة والعشرين عاما القادمة، وهو إلى حد بعيد منتج ثانوي من منتجات سهولة أتمتة تكنولوجيا سلسلة الـ «د.ن.أ» وحوسبتها. ومن المفترض أن نحصل في حدود عام ٢٠٢٠ على موسوعة كاملة تقريبا للحياة. وبعد عام ٢٠٢٠، عندما يمتلك كل شخص شفرة الـ «د.ن.أ» الشخصية، فإن المشكلة ستتحول بشكل متزايد نحو فهم كيف تقوم الجينات بعملها الساحر في أجسامنا. وكما يقول والتر جيلبرت «سيتحول العلم إلى مشكلة ماذا تعني سلسلة ما وماذا يفعل الجين بالضبط». وبعد عام ٢٠٢٠ سيغمر البيولوجيون الجزيئيون بملايين الملايين من الجينات من كائنات حية مختلفة، والتي يجب تحديد وظائفها دون كلل. إن مجرد امتلاكنا لقرص

مدمج شخصي عليه ثلاثة مليارات رمز مكثف لا يعني أننا نعرف كيف تعمل جيناتنا، وعلى سبيل المثال، فإن كسر شفرة الخميرة سيجعلها مختبرا لبحوث الجينات البشرية، وتحديد كيفية عمل جيناتنا. ويحدد العلماء عادة وظيفة جين معين في كائن حي ما بحذفه أو تشويهه، ثم مراقبة ما يحدث لهذا الكائن الحي (ويمكن مقارنة هذه الطريقة البدائية إلى حد كبير بمحاولة معرفة طريقة عمل كمبيوتر فائق عن طريق تحطيم المكونات الإفرادية له، ومعرفة ماذا يحدث). ولأن خلايا الخميرة تتكاثر في عدة أيام، فهي أفضل من الفأر، على سبيل المثال. لقد وجد العلماء منذ فترة أن جين السرطان البشري «ras» موجود أيضا في الخميرة. وكما في البشر، فإنه يجعل أعضاء الخميرة تفقد سيطرتها على عمليات تكاثرها. ولقد ثبت أن الخميرة بمنزلة منجم من الذهب لجينات بشرية أخرى أيضا، بما في ذلك جينات الاضطرابات العصبية، واضطرابات العظام (على الرغم من أن الخميرة لا تمتلك عظاما أو جهازا عصبيا!).

إن إحدى العقبات التي ستعيق التقدم في «حقبة ما بعد الجينوم» هي «مشكلة طي البروتين» سيئة الصيت، فالبنية الجزيئية هي الهدف في البيولوجيا الجزيئية. ومعرفة شكل جزيء عضوي تساعد غالبا في تحديد وظيفته. وعلى سبيل المثال، فإن العديد من الجزيئات العضوية التي يتفاعل بعضها مع بعض، تشبه في عملها «القفل» و «المفتاح» بحيث يكون أحد الجزيئات على شكل مفتاح، يدخل في قفل موجود في جزيء آخر. ولسوء الحظ فإن دراسة انحراف الأشعة السينية، وهي بمنزلة حصان العمل في البيولوجيا الجزيئية تعتمد على المقدرة على بلورة العينة. وإذا تعذر تبلور بروتين معين، فلا يمكن فحصه بواسطة أشعة إكس.

وباستخدام طرق كيميائية قياسية، يمكن للمرء تحديد الذرات داخل جزيء بروتيني (والتي قد يبلغ عددها الآلاف) وسلسلة أحماضه الأمينية. ولكن هذا لا يخبرنا شيئا حول الترتيب الفيزيائي للأحماض الأمينية في الأبعاد الثلاثة. وبصورة عامة، تبدو جزيئات البروتين مثل سلسلة من الأحماض الأمينية المرتبة في شرائط ولوالب عديدة ملتصقة مع بعضها بشكل غريب. ومن الوهلة الأولى، فإن محاولة تحديد شكل جزيء بروتيني معقد، من دون انحراف الأشعة السينية، يبدو أمرا ميئوسا منه.

ولكن نظرية الكم تتدخل هنا: فميكانيكا الكم تعرفنا بزوايا الربط بين كل ذرة، الأمر الذي يتيح لنا تحديد كيفية دوران هذه الشرائط واللوالب بالنسبة لبعضها البعض. ولكن لتحديد الشكل الدقيق لهذه الشرائط واللوالب، على المرء استخدام كمبيوتر فائق قوي جدا. وبصورة عامة، فإن كل الأنظمة الفيزيائية تميل إلى حالة الطاقة الدنيا. تصور جزيئا بروتينيا يتألف من مجموعة كبيرة من اللوالب النحيلة الملتصقة مع بعضهابواسطة خيط. والآن، قم بهز هذه الأداة الغريبة الشكل، وفي البداية يبدو كما لو أن الحركات الناجمة عن ذلك عشوائية تماما، ومن الصعب التنبؤ بها، ولكن في الحقيقة فإن الشكل النهائي لهذه اللوالب، مهما كانت معقدة، ليس سوى حالة الطاقة الدنيا. وباستخدام كمبيوتر فائق، يمكن للمرء أن يحسب الطاقة لملايين الترتيبات الممكنة من هذه الشرائط واللوالب. وباختيار شكل الشرائط واللوالب بالطاقة الأدنى، يمكن للمرء أن يحدد كيف «تنطوي» البروتينات إلى الشكل الصحيح. وليس من الغريب أن تكون مشكلة طي البروتين مشكلة صعبة، تتطلب الكثير من عبقرية الكمبيوتر ووقته. وبما أننا سنمتلك بحدود عام ٢٠٠٥ ـ مبدئيا ـ كل الـ ١٠٠ ألف جزيء بروتيني اللازمة لبناء كائن بشري، فسيعتمد العلماء على أجهزة الكمبيوتر الفائقة لعدة عقود، كي تخبرنا كيف تُطوى هذه البروتينات في الأبعاد الثلاثة.

وكما يمكنك أن تتصور، فمن المحتمل أن يتباطأ التقدم بعد عام ٢٠٢٠ إلى حد كبير، عندما تهيمن المسائل الصعبة حول وظيفة الجين والأمراض متعددة الجينات، وطي البروتين على البحث العلمي. وستكون هذه العملية عملية بطيئة، وتحتاج إلى عمالة كثيفة. ومع ذلك فإن الفوائد ستكون عظيمة، لأنها ستكشف عن مجموعة من الأمراض الوراثية، التي هددت البشرية منذ أن مشينا، لأول مرة، على سطح الأرض. وقد يوفر لنا ذلك أيضا الأدوات الجزيئية اللازمة لقهر أحد أعظم القتلة في العصورالحديثة وهو السرطان.



8 قمر السرطان: إصلاح جيناتنا

«ريبيكا ليلي» فتاة متوثبة تمثل نموذجا لفتاة المدرسة الثانوية في الضواحي. وهي أنيقة ورياضية وتشع حيوية، وتتكلم بكثرة حول الأشياء التي تقلق معظم المراهقين مثل المدرسة والصف الدراسي، وأن تكون مقبولة من زميلاتها. ويقول مدربها في لعبة السوفت بول توم ميرز بفخر: «إن ريبيكا تمتلك قلبا كبيرا بحجم ملعب الكرة هذا، إنها مفعمة بالحيوية، لا تتذمر ولا تستسلم أبدا، إنها تبقينا جميعا في اللعبة».

لقد كان أحد المعالم المهمة في حياتها إقامة حفلة مفاجئة بمناسبة بلوغها سن السادسة عشرة. ولقد اندمجت بتلقائية مع رفاقها على حلبة الرقص، حيث رقصت على أغنية الماكارينا، وضحكت مع أصدقائها. وككل الفتيات المراهقات فهي تحلم بالشباب والحفلات وبمستقبلها، ولكن لسوء الحظ، فإن كل هذه الأحلام كانت مجهضة، لأن هوة ـ لا يمكن التكلم عنها ـ تفصلها عن أصدقائها: إنها تعاني ورما في المخ لا يمكن علاجه. وفي تشرين الثاني من عام ١٩٩٥،

«سيأتي الوقت الذي تستخدم فيه رصاصات سحرية. لمعالجة السرطان بالطريقة ذاتها، التي نعالج بها اليوم عددا من الأمراض المعدية عن طريق اللقاحات والمضادات الحيوية».

فرانسيس كولينز

معاهد الصحة الوطنية

أصبحت أول شخص في التاريخ يعالج من سرطان المخ باستخدام العلاج الجيني. لقد عانت، منذ أن كانت في العاشرة من عمرها، معرفتها بأنها قد تموت من ورم في المخ، وهو ورم من نوع خبيث جدا ينمو من دون توقف داخل جمجمتها، ومن دون معالجة، فإن هذا الورم سيتوسع من دون هوادة محطما في النهاية مخها. وقد دخلت إلى المستشفى وخرجت منها مرات عديدة منذ ذلك الوقت. ولقد تعودت على فحص المخ بالرنين المغناطيسي والمعالجة بالأشعة والجراحة الدماغية، أكثر من اعتيادها على امتحانات الكفاءة. لقد أجريت لها جراحة المخ المفتوح أربع مرات لإزاحة الورم، ولكنه في كل مرة يعود فينمو. أما المعالجة الكيميائية فلم تكن ممكنة، لأن الأدوية السامة المصممة لقتل الخلايا السرطانية لا يمكنها أن تخترق حاجز الدم ـ المخ، وبالتالي مهاجمة الورم الدماغي، وعندما فشلت كل البدائل، واحدة بعد الأخرى، اختار والدها في النهاية معالجة جذرية تجريبية أخيرة وهي المعالجة الجينية.

وخلال عملية صعبة استغرقت ٩ ساعات لإزالة معظم ورمها، حقن الأطباء دماغها بفيروس غير مؤذٍ. وقد قام العلماء بتغيير الشفرة الجينية للفيروس، بحيث لم يعد مؤذيا. كما أدخلوا فيه جينا مصمما لإصابة الخلايا السرطانية، ودفعها إلى تدمير نفسها. لقد كان الفيروس بمنزلة حصان طروادة مصمما على خداع الخلايا السرطانية لتموت. ولفترة من الزمن بدت هذه المعالجة الجديدة ناجعة، واستعادت ريبيكا قدرتها المعتادة على المزاح، كما تحسنت ذاكرتها وبدت كأنها ترجع إلى حالتها الطبيعية. وقال طبيبها «إن لديها ٦ أشهر جيدة». ولكن مسح الطنين المغناطيسي الأخير في مايو ١٩٩٦ أظهر، لسوء الحظ، أن ورم المخ قد عاد، وقد اعترف روجر باكر طبيب الأعصاب في المستشفى الذي كانت تعالج فيه بسيثيدا في ميريلاند «بأنه حقل ميئوس منه».

ولكن أملا جديدا عن طريق المعالجة الجينية ظهر عام ١٩٩٦. فعن طريق استبدال الجين المشوه P53، الذي يوجد في أكثر من ٥٠٪ من كل حالات السرطان الشائعة (والذي يرمز إلى بروتين يزن ٥٣ ألف وحدة ذرية)، استطاع الأطباء في جامعة تكساس أن يفصلوا الأورام الصدرية في حالتين، وأن يوقفوا سرطان الرئة عن النمو في ثلاث حالات، وحتى أن يزيلوه تماما في حالة واحدة.

وبالرغم من أن أحدا لا يداعي أن هذا هو علاج السرطان فإن هذا النوع من المعالجة الجينية قد يُحدث ثورة ـ يوما ما ـ في أسلوب معالجة الأطباء للسرطان والأمراض الوراثية. وقد تساعد المعالجة الجينية في النهاية على مكافحة الـHIV والأمراض المزمنة مثل مرض الخرف المبكر والمرض العقلي والتهاب المفاصل والشيخوخة.

وقد ينظر العلماء العام ٢٠٢٠ إلى المعالجة الكيميائية والإشعاعية والجراحية في معالجة السرطان بالاشمئزاز نفسه، الذي نشعر به نحن الآن تجاه استخدام الزرنيخ وإسالة الدم والفصد منذ سنوات عدة سابقة لمعالجة الأمراض. وبحلول عام ٢٠٢٠ فإن أنواعا كاملة من الأمراض الجينية، بما في ذلك أنواع عديدة من السرطان، قد ينظر إليها بالطريقة ذاتها التي ننظر بها إلى الجدري اليوم.

أبو المعالجة الجينية

يدّعي فرينش آندرسون، الذي سمي مرة «أبا المعالجة الجينية»، والذي يرأس معهده الخاص في جامعة ثازرن كاليفورنيا، بأن «بوابات الطوفان قد فتحت بالكامل، لقد حصلنا على الضوء الأخضر، وعلينا أن نتقدم خطوة فخطوة. ولكننا في بداية مرحلة تعد الأكثر إثارة في تاريخ الطب. يا له من زمن مدهش، لو قُدِّر لنا أن نحياه».

ويتنبأ أندرسون أنه لن تكون لدينا بحلول ٢٠٢٠ سلسلة الـ «د. ن. أ» الشخصية فقط، وإنما «ستكون هناك معالجة جينية لكل مرض تقريبا من بين أشكال العلاج الأخرى له»، ويشاركه عدد من زملائه هذا الحماس. ولقد تنبأ ليروي هيرد من جامعة واشنطن بثقة «ستتوفر لنا خلال العشرين إلى الأربعين عاما القادمة إمكانات القضاء على الأمراض الرئيسية التي تهدد سكان أمريكا». وخلف هذه التنبؤات المتفائلة، هناك وعي بأنه كلما ازدادت دراستنا للأمراض، زاد فهمنا وتقديرنا لأصولها الجزيئية والجينية. وفي الحقيقة، فإن حائز جائزة نوبل بول بيرج من جامعة ستانفورد يعتقد أن (كل) الأمراض هي ـ في التحليل النهائي ـ جينية في طبيعتها، ويقول «يمكنك أن تجلس هنا لساعة، ولا يمكنك إقناعي بأن أي مرض يمكنك التفكير فيه ليس جينيا».

إن أندرسون الذي يهوى سباق سيارات الفورميلا ١، وعلم الآثار والطب الرياضي رائد في هوايته المفضلة (التايكوندو): وهي شكل من أشكال الفنون الحربية الكورية، ويحمل حزاما أسود من المرتبة الرابعة. وللاسترخاء، يضرب رجله اليمنى في حزمة من ألواح خشبية، محطما خمسة في ضربة واحدة. ولقد كان أيضا الطبيب الرئيسي لفريق الولايات المتحدة الأولمبي في لعبة التايكوندو في سول عام ١٩٨٨.

ويحب أندرسون أن يقارن بين الفنون العسكرية وإجراء البحوث حول أصل الآليات الجينية في الخلية. وهو يدّعي أنه «من الأفضل القيام بالعلم من دون تفكير؛ فهو نوع من البداهة والتسامي». وعلى النقيض من العلوم الأخرى التي أُقِرّت قوانينها الأساسية، فإن علم المعالجة الجينية جديد، ويتطلب كما هي الحال بالنسبة للتايكوندو، اختراعا جريئا ونشاطا خلاقا إضافة إلى العمل الجاد.

وفي عام ١٩٩٠ كان فريق أندرسون الأول في العالم الذي حصل على إذن بإجراء تجربة يمكن أن تحدث ثورة في العلم، حتى في أثناء القرن الحادي والعشرين، وهي إصلاح الجينات المعطوبة لكائن بشري، وخلال سنوات قصيرة عدة، كان هناك جيش مهم من الأطباء يقتفي أثر أندرسون، ويجري تجارب على المعالجة الجينية لعدد من الأمراض. وفي حوالى عام ١٩٩٣ كانت هناك ٤٠ تجربة للمعالجة الجينية، وارتفع هذا الرقم بحلول ١٩٩٦ إلى ٢٠٠ تجربة شملت ١٥٠٠ مريض. وتتم الآن دراسة حوالى ٣٠ مرضا يتصل نصفها تقريبا بمرض السرطان. وينفق حوالى ٢٠٠ مليون دولار من موازنة الـ NIH على تجارب المعالجة الجينية. وعلى هذه التجارب السريرية تتعلق آمال وصلوات الشباب أمثال ريبيكا.

ثلاث مراحل من الطب

يرى أندرسون أن الطب في سبيله لأن يدخل ـ مثل الكمبيوتر ـ إلى المرحلة الثالثة بواسطة البيولوجيا الجزيئية: فخلال المرحلة الأولى للطب قام السحرة والعرافون بمسح مملكة النباتات لآلاف السنين، بحثا عن الأعشاب التي يمكنها أن تطرد الأرواح الكريهة من الجسم. وقد عثروا أحيانا على علاجات

قيمة، لا تزال تستخدم إلى اليوم. ويعود أصل بعض الأدوية الشائعة اليوم إلى هذه المرحلة البدائية والمهمة. ولكن مقابل كل عشب وجد أنه فعال ضد بعض الأمراض عن طريق التجربة والخطأ، كانت هناك آلاف الأعشاب التي لم تكن مفيدة، وأدى بعضها إلى الإضرار بالمرضى. وعلى سبيل المثال، فإن طبيبا ريفيا أصبح أحد مؤسسي عيادة مايو الشهيرة في روشستر مينيسوتا، سجل بصراحة نادرة أن معظم عقاقيره كانت بلا فائدة، ولكن كان هناك في حقيبته السوداء شيئان مضمونا النجاح في كل مرة: المورفين ومنشاره اللذان استخدما في عمليات البتر.

وفي المرحلة الثانية من الطب التي بدأت بعد الحرب العالمية الثانية، أدى الانتشار الكبير للقاحات والمضادات الحيوية، إلى اختفاء مؤقت لأنواع كاملة من الأمراض. ويكتب أبيجل ساليرز ودكسي ويت مؤلفا «البكتريا المسببة للأمراض» أن أحد الأسباب التي أدت إلى رفع الأطباء إلى مكانتهم الحالية كمهنيين محترمين، هو أن المضادات الحيوية مكنتهم فعلا من معالجة أمراض، لم يمكنهم في الماضي أن يقدموا لها سوى معالجة ملطفة (وغير فعالة إلى حد كبير).

ولحسن الحظ، فإننا ندخل الآن المرحلة الثالثة، وهي مرحلة «الطب الجزيئي» التي ربما كانت أكثرها إثارة وعمقا. ولأول مرة في التاريخ يكتشف كل مستوى من مسببات المرض بروتينا فبروتينا، وجزيئا فجزيئا، وذرة فذرة. وتماما مثل جنرال يقرأ بشغف خريطة دفاعات العدو، يمكن للعلماء اليوم أن يقرأوا الجينوم الكامل للجرثومة، ويحددوا النقاط الجزيئية الضعيفة في دفاعاتها. وكما يقول شيرفن نولاند من مدرسة الطب في جامعة ييل: «لقد مرّ فن الاستشفاء القديم على مدى ٢٠ عاما من التفاؤل المحدود والبسيط نسبيا لحقبة المضادات الحيوية، إلى الآفاق غير المحدودة على ما يبدو للعصر الجزيئي».

بلاء السرطان

إن المرض الوحيد الذي أعيا أكثر البرامج تكثيفا في التاريخ يقدم في النهاية أسراره للطب الجزيئي. إن السرطان أحد أكثر الأمراض بشاعة، وهو

السبب الرئيسي الثاني للوفيات في الولايات المتحدة (بعد مرض القلب). ويقتل في كل عام حوالى نصف مليون أمريكي، وهو أيضا أحد أكثر الأمراض انتشارا. وهناك حوالى ٢٠٠ شكل من أشكال السرطان (التي تؤثر تقريبا في كل نوع من أنواع الخلايا في الجسم البشري). وعلى نقيض الخلايا العادية، تفقد الخلايا المسرطنة قدرتها على وقف الانقسام، إنها لا تموت وتنتشر بلا حدود، حتى تخنق وظائف الجسم العادية، وتقتل الضحية. (ولا يعني هذا أن كل خلية سرطانية لا تموت؛ فيمكن للخلايا السرطانية أن تموت تماما مثل الخلايا العادية، والفارق هو أن الخلايا السرطانية تنتشر بشكل لا محدود بحيث إن سلسلة الخلايا خالدة).

إن العلماء الآن على عتبة الفهم الكامل لكيفية تطور السرطان على المستوى الجزيئي، وبشكل رئيسي (فقد حُلَّ سر السرطان)، لقد ثبت الآن أن السرطان مرض جيني، وقد عُرفت الآن السلسلة الدقيقة لأربعة إلى ستة تحولات لازمة لخلق خلية سرطانية للأنواع العديدة من السرطانات، ولم تُحَدَّد الجينات الرئيسية الداخلة في ذلك فقط، ولكن العلماء عرفوا أيضا الخطوات الجزيئية الرئيسية، التي تتحول عندها خلية عادية إلى سرطانية فجأة.

ويدعي روبرت داينبرج، من معهد التكنولوجيا في ماساشوستس «بأن أجزاء الأحجية دخلت أخيرا في أمكنتها الصحيحة». وتتفجر مراكز بحوث السرطان الآن بالنشاط، بينما تقترب من معرفة التفاصيل الدقيقة لكيفية تشكل السرطان ونموه. وكما يقول دينس سالمون، أخصائي السرطان في جامعة كاليفورنيا ـ لوس أنجلوس UCLA: «هذه أعظم الأوقات التي يمكن تصورها إثارة».

لقد أعطانا الطب الجزيئي، منذ فترة، الجواب على أحد الأسرار الرئيسية للسرطان، أي لماذا كان للسرطان تنوع محير من الأسباب: من أسلوب الحياة، إلى البيئة والفيروسات والمواد السامة ونمط التغذية والإشعاع وتدخين السجائر وشحوم الحيوانات وهرمونات الجنس كالاسترجون... إلخ. ويمكن رد ٣٠ في المائة من أنواع السرطان تقريبا لتدخين السجائر وحده. وإذا أضفنا مساهمة نمط التغذية. نستطيع أن نقيم علاقة مع ٦٠ في المائة من أنواع السرطان تقريبا، وبمقارنة المجموعات العرقية التي تتضح في

مناطق مختلفة (الإفريقيين واليابانيين الذين يشبون في الولايات المتحدة مثلا)، فقد قرر علماء الأوبئة، أنه من الممكن ربط الغالبية العظمى، وربما ٧٠ ـ ٩٠٪ من كل حالات السرطان بالبيئة وأسلوب الحياة.

نظرية موحدة حول السرطان

هناك نوعان رئيسيان من الجينات المتعلقة بالسرطان: مسرعات الورم، وكابحات الورم. ولفهم كيف تعمل، فكّر في سيارة مسرعة لها دواسة السرعة (مسرع الورم) ودواسة كوابح (كابح الورم)، فإحداهما تسرع السيارة والأخرى توقفها. ويمكن للسيارة أن تخرج عن السيطرة بطريقتين: إما أن دواسة السرعة عالقة عند سرعة معينة (مسرع ورم منشط)، وإما أن يكون الكابح عاطلا (كابح ورم غير منشط). وبعبارة أخرى، فإن الخلية تختل إما بانقسامها بصورة لا يمكن التحكم فيها، وإما أنها تفقد قدرتها على التوقف عن الانقسام.

لقد وجد العلماء أكثر من ٥٠ نوعا من مسرع الورم لسرطان الثدي والقولون والمثانة والرئتين، ويشتمل مسرع الورم هذا على الجين الذي يرمز إلى البروتين P21، (والذي يشتق اسمه من حقيقة أنه يزن ٢١ ألف وحدة ذرية، أو ما مقداره ٢١ ألف ذرة هيدروجين) إضافة إلى P60. أما الصنف الثاني من الجينات الذي يمكنه أن يسبب السرطان، وهو كابح الورم، فيشتمل على نسخ متحولة من الجينات DCC وعلى الأخص P53، والتي يدرك العلماء الآن أنها موجودة في معظم السرطانات الشائعة. وعلى نقيض مسرع الورم فإن هذه التشوهات تحدث في الجينات، التي توقف عادة عملية التكاثر. وبوجود تحولات في هذه الجينات، فإن الخلايا تتكاثر بشكل لا يمكن التحكم فيه وللأبد تقريبا. ويتوقع العلماء أن يحصلوا حوالى عام ٢٠٢٠ على موسوعة كاملة تقريبا من جينات مسرعات الورم، وكابحات الورم معطية إيانا فهما للأساس الجزيئي للسرطان، وفاتحة عددا من الطرق الجديدة لمهاجمته.

P53 المفتاح لمعظم السرطانات

إن أحد أسباب شعور العلماء بالثقة في التنبو بأن أنواعا كاملة من السرطانات قد تصبح قابلة للشفاء بحلول عام ٢٠٢٠، هو أن معظم

السرطانات تحدث بسبب التشوهات في حفنة من الجينات فقط، وأكثرها أهمية هو P53، وبالرغم من وجود مئات الجينات المتعلقة بالسرطان، فإن مفتاح معالجة معظم السرطانات قد يكون في التركيز على الجينات العادية الموجودة في الغالبية العظمى من السرطانات، وتحييدها عن طريق المعالجة الجينية أو «الجزيئات الذكية».

وفي كل عام نجد أن النسخة المشوهة لجين P53 متورطة في سرطانات أكثر وأكثر، من سرطان الرئة إلى القولون والصدر والمريء والكبد والدماغ والجلد إلى تكسر الدم. وقد وجد الجين في ٥٢ شكلا شائعا للسرطان، وكانت نسبة السرطانات التي تمتلك P53 معطلا مذهلة: ٩٠ في المائة من كل سرطانات الرحم، و٨٠ في المائة من كل سرطانات القولون، و٤٠ ـ ٦٠ من كل سرطانات المبيض، و٣٥ ـ ٦٠ في المائة من كل سرطانات المثانة، و٥٠ في المائة من كل سرطانات المخ. ويلاحظ بيرت فوجلشتاين من كلية جونز هوبكنز الطبية «إن هذا، بكل وضوح، هو الجين الذي وجدنا ـ حتى الآن ـ انه الأكثر انتشارا بحالته المشوهة في الأورام السرطانية لدى الإنسان». وهو مهم جدا بحيث سمى العلماء جين P53، عندما يعمل بشكل طبيعي، «حارس الجينوم». إن الـ P53 ضروري جدا لتشكل السرطانات، بحيث إن مجلة العلوم سمته عام ١٩٩٤ «جزيء العام».

لقد حل فهم الـP53 أيضا بعض الأسرار العالقة منذ مدة طويلة، والتي استعصى حلها على مدى عدة عقود من الزمن. ويمنع P53 عادة التكاثر في خلية معطلة أو مشوهة، ويشجع انتحار الخلية (والذي يدعى السبات العميق). وعندما يتحول P53 أو يُحيّد، تستطيع الخلايا المعطلة الاستمرار في الانتشار داخل الجسم، خالقة بذلك أوراما.

وكما نفهم اليوم، فإن السبب في ظهور P53 في أنواع مختلفة من السرطانات، يعود إلى بنيته الجزيئية. فهو طويل جدا ورقيق (يتألف من ٢٣٦٢ زوجا قاعديا). ويمكن لتحولات P53 التي تقع على الذراع القصيرة للصبغي ١٧ أن تتم على ١٠٠ موقع على طول الجين. ولذا فإن P53 مزدحم بمواقع ممكنة لعملية التحول (وبالمقارنة، فإن للجينات الشائعة الأخرى المتعلقة بالسرطان عادة تحولات ضارة، تحدث على نصف دزينة من المواقع فقط).

والجين هو في الحقيقة تجمع يتألف من ٤ نسخ متطابقة أو أكثر من الوحدات الفرعية الصغرى. وعلى كل الوحدات الفرعية الأربع أن تعمل بشكل

صحيح من أجل أن يتحكم P53 بشكل نظامي في تكاثر الخلية. إن حقيقة أن P53 جزيء غير طيّع يجعله معرضا بشكل خاص للتحولات، وعلى سبيل المثال ينتج سرطان القولون ربما من تحول ٤ إلى ٦ جينات، ويمكن لسرطان عادي للقولون أن يتطور على النحو التالي: فقد وظيفة جين الـ ABC، وتنشيط جين K-ras ، وفقد جيني P53 وDCC.

ويحل هذا بدوره إحدى المعضلات الأساسية في السرطان وهي: لماذا يستغرق السرطان غالبا من ٢٠ إلى ٤٠ سنة بعد التعرض الأول للإشعاع والأسبستوس والمواد المسرطنة الأخرى كي يتطور؟ ويرجع السبب في استغراقه لهذا الوقت الطويل إلى أنه من الضروري أن تحدث سلسلة من التحولات المتتالية، قبل أن تعطل في النهاية آلية النمو للخلية. ويستغرق هذا التعطيل المتتالي لآلية التكاثر في الخلية - عادة - وقتا لكي يحدث، وغالبا ما يكون عدة عقود.

ولكل هذا آثار تطبيقية هائلة، فلقد أصبحت اختبارات الدم لمعرفة ما إذا كان الناس يحملون نسخة محولة من P53 متاحة. وعلى الرغم من أن هناك حاجة لـ ٣ - ٥ تحولات أكثر لإطلاق السرطان، فإن التحول في P53 قد يكون أكثرها أهمية، وبحلول ٢٠٢٠ ستكون اختبارات P53 المعطوبة ومئات الجينات الأخرى المتعلقة بالسرطان شائعة.

وثانيا: فإن المعالجة الجينية تستهدف جينات P53 المعطوبة للنظر في إمكان استبدالها بنسخة طبيعية للجين. وثالثا: سيقدم P53 لنا فهما لتسبب بعض أصناف الكيمياويات والوسائط في البيئة بحدوث السرطان، إذ إن P53 يمتلك عددا من (البقع الساخنة) التي يمكن للسموم الكيميائية أن تحدث فيها تحولات. وعلى سبيل المثال، فمن المعروف أن الـ aflatoxion وهي مادة كيمياوية مسببة للسرطان، توجد في الغذاء المتعفن، وتؤدي إلى سرطان الكبد، تحدث تحولا في الـ P53 بتغيير الـ G إلى T. وبتحليل الطرق التي تسبب بها بعض المواد الكيمياوية تحولات في P53 يتمكن المرء من فهم كيف يمكن للسموم والعوامل البيئية أن تسبب السرطان.

ويمكن لمثل هذه الاكتشافات أن تؤثر بشدة في صناعات يقدر إنتاجها بعدة بلايين من الدولارات؛ لقد استطاعت صناعة التبغ مثلا هزم الدعاوى

القانونية، التي سجلتها عائلات المدخنين، الذين ماتوا من سرطان الرئة ضدها بالادعاء أنه ليس بإمكان أي شخص أن يبرهن بشكل قاطع على أن دخان السجائر يسبب السرطان. وبما أن العلاقة بين دخان التبغ وسرطان الرئة أثبتت بشكل غير مباشر، من خلال علم الأوبئة والإحصاءات بدلا من البيوكيمياء، فقد ادعت شركات التبغ دائما في المحاكم، أنه لا يوجد «مسدس تدخيني» يثبت التهمة على التبغ.

لكن كل هذا تغيّر عام ١٩٩٦، عندما برهن العلماء على أن المادة الكيمياوية بترو برين ديول إيبوكسايد «BPDE» الموجودة بشكل شائع في دخان السجائر، تحدث مجموعة مميزة من التحولات في الـ P53 على ثلاثة مواقع محددة. وهذه التحولات الثلاثة هي (بصمة الأصابع لمركب «BPDE»، ويمكن كشفها بسهولة في الـ P53 المتحول بسبب دخان السجائر، وهذه هي بالضبط التحولات المتورطة في حدوث سرطان الرئة). وبما أن أكثر من ٤٠٠ ألف أمريكي يموتون نتيجة لسرطان الرئة كل عام (حيث يرتبط ٨٠ ـ ٩٠٪ منهم بالتدخين بحسب جمعية السرطان الأمريكية)، فإن لهذا انعكاسات سياسية واقتصادية هائلة، وقد تقرر الدعاوى القانونية في المستقبل رد السرطان إلى بصمة جزيئية محددة على جينات رئيسية مثل P53، ras، P16 وغيرها.

وبحلول عام ٢٠٢٠ سيكون العلماء قد وجدوا (البصمة) الجينية لمئات الأنواع المختلفة من الملوثات الكيميائية في بيئتنا، وبمقارنة سرطان الشخص مع البصمة الجينية التي يتركها جين مسرطن، سيتمكن العلماء في حالات كثيرة من معرفة سبب حدوث السرطان لهذا الشخص بالضبط. ويمكن أن يكون لهذا تأثير عميق في كيفية التحكم بالملوثات، وتحديد من يدفع التعويض. وقد يساعد أيضا في حل لغز زيادة سرطان الصدر في البلاد الغربية، والذي أربك علماء الأوبئة في أنحاء البلاد.

ولكن ربما كان اكتشاف التيلومرات Telomeres، التي تعرف الآن على أنها نوع من أنواع «الساعة البيولوجية»، هو أحد أكثر الاكتشافات إثارة خلال السنوات القليلة الماضية، وعن طريق إعادة ضبط الساعة قد يتمكن المرء من أن يأمر الخلايا السرطانية بالموت.

التيلومرات... «الحماية» ضد السرطان

منذ بداية البحث في الخلية حلم العلماء بقدرتهم على فهم الساعة البيولوجية الغامضة، التي تحدد متى تموت الخلايا العادية، وتفسر لماذا لا تموت الخلايا السرطانية. وخلال السنوات القليلة الماضية اكْتُشفت هذه الساعة ليفتتح بذلك حقل بحث جديد تماما للقرن الحادي والعشرين.

لقد عرف العلماء منذ الستينيات أن الخلايا التي تربى من أطفال حديثي الولادة ستنقسم ٨٠ ـ ٩٠ مرة، بينما تنقسم الخلايا من أشخاص في سن السبعين من ٢٠ ـ ٣٠ مرة، ولكن إذا كانت الخلية تحتوي على قنبلة موقوتة فما «فتيلها»؟ إننا نعرف الآن ذلك، لقد لوحظ في السبعينيات أن لنهايتي صبغياتنا «غطاء» دُعي «تيلومر»، يشبه كثيرا الأغطية البلاستيكية لشرائط الأحذية التي تمنعها من أن تتنسل. وإذا ضاعت هذا التيلومرات فإن الصبغيات تلتصق ببعضها وتموت الخلية في النهاية. وفي خلية طبيعية يصبح فتيل التيلومر أقصر فأقصر حتى تنتحر الخلية. فعندما ينتهي الفتيل تنتهي الخلية. ولكن بعض الخلايا غير العادية، كما نعرف اليوم، تمتلك المقدرة المميزة على إبقاء فتيل التيلومر طويلا بشكل دائم. وبهذا تصبح غير فانية، وتدعى مثل هذه الخلايا بالخلايا السرطانية.

لقد أظهر الفحص الدقيق للتيلومرات أنها تتألف من السلسلة الجينية TTAGGG مكررة مرة بعد مرة إلى ٢٠٠٠ مرة. و وجد أيضا أن الخلية الأقدم تحتوي على تيلومر أقصر، وتفقد الخلية حوالى ١٠ ـ ٢٠٪ من هذه القطع كلما انقسمت، أي أن الفتيل يصبح أقصر بعد كل انقسام، لذلك فقد وضعت نظرية اختفاء التيلومر وموت الخلية عندما يصبح الفتيل أو التيلومر قصيرا جدا بعد انقسامات عدة للخلية.

وفي عام ١٩٨٤ اكتشف الإنزيم «تيلوميراز» Telomorase الذي يستطيع أن يعكس العملية ويطيل التيلومرات، وبالتالي يمنع انتحار الخلية، ومع ذلك، فإن إنزيم التيلوميراز غير موجود في معظم الخلايا في جسم الإنسان. وفي عام ١٩٩٤ توصل كريستوفر كاونتر وسيليفيا باكشيتي وزملاؤهما في جامعة مكماستر إلى اكتشاف حاسم. لقد أظهروا أن التيلوميراز موجود في تشكيلة واسعة من السرطانات التي لديها تحولات

جينية تسمح لها بتصنيع التيلوميراز، ولقد منع هذا بدوره التيلومرات الموجودة فيها من الاختفاء، وبالتالي جعل الخلية غير فانية.

وبهذه الاكتشافات فإن لدينا الآن فرضية ناجحة حول شيخوخة الخلية وموتها والسرطانات؛ فالتيلومر يعمل مثل ساعة تقيس عملية شيخوخة الخلية وموتها، وكلما كان التيلومر قصيرا كانت الخلية أقدم سنا. أما الخلايا السرطانية فلأنها تستطيع صنع التيلوميراز الذي يجمد انكماش التيلومرات، فقد «نسيت كيف تموت» على حد تعبير ساموبل برودر مدير المعهد الوطني للسرطان.

إن هذا الاكتشاف يفتح أبوابا جديدة للكشف عن السرطانات ومعالجتها في القرن الحادي والعشرين، وستكون إحدى الطرق اكتشاف التيلوميراز في الجسم. وبما أن الخلايا الطبيعية لا تحتوي على التيلوميراز، فإن وجود هذا الإنزيم الرئيسي يشير إلى وجود خلايا سرطانية تنمو. كما يمكن أيضا تحييد أو تعديل التيلوميراز بحيث تشيخ الخلايا السرطانية بشكل عادي. وبما أن التيلوميراز غير موجود في الخلايا العادية فستستهدف هذه المعالجة الخلايا السرطانية فقط (على النقيض من ذلك تعمل المعالجة الكيميائية مثل حافلة طائشة تصدم الخلايا السرطانية والعادية في الوقت ذاته).

السرطان عام ٢٠٢٠

ولأن السرطان طائفة مجنونة مؤلفة من حوالى ٢٠٠ نوع مختلف على الأقل من الأمراض، بحيث إن هناك نوعا واحدا لكل نوع من أنسجة البشر، فإنه لن يعالج بشكل كامل بحلول ٢٠٢٠. وكما يقول ريتشارد كلاوسنر من المعهد الوطني للسرطان «لن يكون هناك أبدا علاج وحيد للسرطان». ومع ذلك فمن المفترض أن يمتلك العلماء بحدود ٢٠٢٠ تصنيفا كاملا تقريبا للتحولات الداخلة في الـ ٢٠٠ نوع من السرطان هذه، وسيفجر هذا نموا هائلا في كشوف جذرية جديدة للسرطان ومعالجته، بما في ذلك أنواع من الإستراتيجيات الجديدة المذهلة، لمهاجمة النقاط الجزيئية الضعيفة للسرطان. وهناك طرق جديدة متعددة تولّد اهتماما شديدا من المفترض أن يعطي العديد منها أُكله بحلول عام ٢٠٢٠.

ويتعلق أولها (بالكشف عن السرطان)، تصور أن تكون قادرا على الكشف عن مستعمرة صغيرة جدا من الخلايا السرطانية قبل أن يتشكل ورم ظاهر بعشر سنوات. وتصمم الآن اختبارات حساسة جدا (سوف تنزل إلى السوق قريبا)، يمكنها اكتشاف كميات صغيرة جدا من البروتينات تصدر عن بضع مئات من الخلايا السرطانية فقط عندما تنمو وتشكل في النهاية أوعية دموية. ويمكن الكشف عن هذه البروتينات بتحليل البول أو الدم، وبالمثل سيتمكن الأطباء من الفحص المباشر عن وجود الجينات السرطانية في تكويننا الجيني. ويوجد حوالى نصف السرطانات في أعضائنا المفرغة (الصدر والقولون والمثانة)، والتي تحتوي غالبا على الجين ras المتحول، وبتصميم اختبارات بسيطة على الجين ras في بولنا ودمنا (والتي يمكن إجراؤها في المستقبل في المنزل) سنتمكن من اكتشاف معظم السرطانات قبل تشكيلها أوراما أو انتشارها بسنوات.

ويتعلق الاتجاه الثاني بتطوير (أساليب مكافحة طبيعية للسرطان). لقد بدأ العلم، يفهم على المستوى الجزيئي، لماذا تساعد بعض المنتجات والفيتامينات الطبيعية في الوقاية ضد السرطان، لقد وجد أن الجينستاين في الكرنب (الملفوف) وفول الصويا موجود بتراكيز عالية في الوجبة الغذائية اليابانية، ومن المعروف أنه يكبح تشكل الأوعية الدموية في الأورام السرطانية (يبلغ تركيز الجينستاين في بول اليابانيين ٣٠ ضعف تركيزه في بول الغربيين). ومن المعروف أن مضادات الأكسدة في الأغذية (مثل فيتاميني C وE والليسوين في الطماطم، والكاتشين في الثمار العنبية، والجزريات في الجزر تقلل معدل التحول في الخلايا بكبح الجزيئات الحرة. وتحتوي خضراوات أخرى على مواد كيميائية تولد إنزيمات تحمي ضد السرطان (مثل أندول في الملفوف والليمونويد في الحمضيات والأيزوثلوسيانيت في الخردل). ويدور الاتجاه الثالث حول (تقوية جهاز المناعة)، وعادة فإن الأجسام المضادة التي تصنع من قبل جهاز المناعة ليست قوية بما يكفي لمهاجمة خلية سرطانية، ويستطيع المرء مع ذلك صنع «الأجسام المضادة وحيدة الاستنساخ» أو مواد كيميائية تستهدف بشكل خاص البروتينات الموجودة على سطح الخلية السرطانية. وبعد موجة أولية من الحماس لمثل هذه المضادات عانى المجتمع العلمي خيبة أمل شديدة،

ولكن لوي أولد الذي عمل سابقا في معهد سلون كيترنج لبحوث السرطان في نيويورك يقول «إن الفكرة تبقى صحيحة، ويُحرَز تقدم بطيء، ولكنه مستمر في تطوير المعالجة بالأجسام المضادة».

ويتعلق الاتجاه الرابع (باستهداف جينات السرطان). ويمكن في المعالجة الجينية حقن الجين السليم واستبدال الجينات المعطوبة التي تسبب السرطان. وقد حقن العلماء بنجاح جين P53 السليم إلى خلايا سرطانية في مزارع خلايا، وبالتالي أوقفوا تكاثرها. ويجرون تجارب على الإنسان أيضا، وبصورة أخرى يمكن للعلماء أن يطوروا مثبطات تقوم بإيقاف البروتين المعطل، الذي يُصنَّع من قبل الجين السرطاني. ويمكن على سبيل المثال إيقاف البروتين المنتج من مسرّع الجينات ras بواسطة مثبطات من نوع فارنيسيل ترانسفيريز.

ويركز الاتجاه الخامس على لقاحات السرطان، وبالرغم من أن هذا الاتجاه جرب أولا ثم تم التخلي عنه، إلا أن الثورة البيوجزيئية أثارت اهتماما جديدا به. وبواسطة التكنولوجيات الحديثة يمكن للمرء أن يتتبع بدقة فعالية بعض اللقاحات، والذي كان أمرا مستحيلا تقريبا من قبل.

وفي الاتجاه السادس يمكن للأطباء أن يغلقوا مصادر الدم عن السرطان: فمن أجل أن ينمو السرطان إلى أكبر من حجم حبة البازلاء، عليه أن يحرض نمو الأوعية والشعيرات الدموية لتزويد الورم بالغذاء. وتدعى عملية نمو الأوعية الدموية «بنشوء الأوعية» Angiogensis. وتتلخص إستراتيجية إيقاف نمو الأوعية الدومية هذه في تطوير موقفات لهذا النمو. وهناك ثلاثون شركة تكنولوجيا حيوية حول العالم، تنتج ـ منذ فترة ـ موقفات له مثل الـ TNP470، وبعضها الآن في مرحلة التجارب السريرية.

وهناك اتجاه يستهدف التيلوميراز، فإذا استطعنا تحييده جعلنا الخلايا قابلة للموت مرة أخرى، مثلها مثل باقي الخلايا. ولا أحد يعلم بالضبط ما المعالجة الأكثر فاعلية ضد السرطان. ولكن المهم هو أن الثورة البيوجزيئية قد حطمت سر السرطان اليوم، وقدمت لنا ثروة من المسارات الجديدة الواعدة جدا لمهاجمته، والتي ستحل محل الأدوات البدائية للمعالجة الكيمياوية والجراحية والإشعاعية المتوافرة اليوم. ويعتقد العديد من العلماء أن أصنافا كاملة من السرطانات قد تكون قابلة للعلاج بحدود ٢٠٢٠.

الأمراض الوراثية: البلاء القديم

قد تخضع الثورة البيولوجية بحلول العام ٢٠٢٠ نوعا آخر من الأمراض القديمة تحت السيطرة، وهو الأمراض الوراثية. إن ستيفان هاوكنج، وهو من كبار المختصين في دراسة الكون «الكوسمولوجيا» في العالم، يعاني مرض ضمور العضلات وهو المرض الوراثي ذاته الذي أودى بحياة كل من لاعب البيسبول لوجيريج، والسيناتور جاكوب جافيتس، والممثل ديفيد نيفين. وبالرغم من أن تفكير هاوكنج لا يزال حادا وثاقبا كعادته، إلا أنه فقد كلية التحكم في يديه وذراعيه وساقيه ولسانه وحتى حباله الصوتية، ويتصل مع العالم عبر مولّد للصوت، بينما يجلس عاجزا تماما في كرسيه المتحرك، ويجري كل العمليات الحسابية المعقدة بالكامل في عقله.

وخلال التاريخ، روعت الأمراض الوراثية المخيفة مثل ضمور العضلات ALS الجنس البشري. وقد يكون فريدرك شوبان قد عانى مرض تليف البنكرياس الحوصلي، وهنري دو تولوز ـ لوترس من التليف الجيني، وفنسانت فان جوخ والملك جورج الثالث من مرض البرفيريا الحادة (الذي يسبب نوبات من الجنون). كما عانى كاتب الأغاني وودي جوثري مرض هانتجتون ونيكولو باجانيني مرض إيلرز ـ دانلوس. وهناك حوالى ٥ آلاف مرض وراثي بشري، بما في ذلك ضمور العضلات والناعور أو النزف الدموي الوراثي، وتليف البنكرياس وفقر الخلايا المنجلية ومرض تاي ـ تاك.

وتسبب الأمراض الوراثية إصابات كثيرة وخاصة لدى الأطفال، مسببة $\frac{١}{٥}$ كل الوفيات للرضع و $\frac{١}{٢}$ كل حالات الإجهاض، و٨٠٪ من كل حالات التخلف العقلي. وربما تصيب الأمراض الوراثية ١٥٪ من الجمهور العام، ولكن إذا أخذ المرء في الحسبان الأمراض متعددة الجينات، أو التي يدخل فيها عنصر جيني قوي (مثل السرطان والخرف المبكر والسكري وأمراض الأوعية الدموية)، فإنها تمثل عندئذ ٧٥٪ من كل الوفيات في الولايات المتحدة.

وبالرغم من أن الطب كان عاجزا لآلاف السنين عن مقاومة هذه الأمراض القديمة، فإن الطب الجزيئي يعدنا بمعالجات وإستراتيجيات جديدة في المعركة ضدها، وربما حتى في علاجها. ومع ذلك يجب خوض هذه المعركة

بشكل دائم، لأن هناك صراعا لا ينتهي بين التطور (الذي يزيل تدريجيا هذه الجينات الضارة بالانتقاء الطبيعي) والتحولات (التي تعيدها دائما عن طريق الأخطاء العشوائية والأشعة الكونية والمواد السامة والتلوثات البيئية... إلخ)، وفي كل جيل تحدث بضع مئات من التحولات في الـ «د. ن. أ» بكل واحد منا. وإذا افترضنا أن نسبة صغيرة من هذه التحولات ضارة، فإن جينين أو ثلاثة من الجينات الضارة تتسلل داخل أجسامنا بالتحول، ولذا فربما يدخل ١٠ بلايين جين جديد وضار إلى مجموعة الجينات البشرية في كل جيل، ونتيجة لذلك، فإن المعركة ضد المرض الجيني لن تنتهي أبدا.

كيف غيرت الأمراض الوراثية التاريخ

تم في السنوات العشر السابقة، فقط مع دخول التكنولوجيا الحيوية، فهم هذه الأمراض الجينية فهما كاملا على المستوى الجزيئي، ولكن بعض الأمراض الوراثية عرفت منذ آلاف السنين: فقد عرف مرض الناعور (النزف الوراثي)، وهو مرض نادر للدم يمنعه من التخثر بشكل طبيعي منذ العصور التوراتية. وقد أعفى التلمود الذكور من عملية الختان، إذا كان لديهم أنسباء ينزفون من دون تحكم. وقد عرف أيضا أن هذا المرض وراثي وينتقل من الأم إلى ولدها. ولقد غيرت هذه الأمراض مصير دول بكاملها، وذلك غالبا بسبب زواج الأقارب من السلالات الحاكمة في أوروبا.

وفي القرن الثامن عشر عانى ملك إنجلترا جورج الثالث نوبات الجنون، التي سببتها نوبات بروفاريا حادة متقطعة، ومن الواضح أنه خلال إحدى هذه النوبات أخطأ رئيس وزرائه لورد نورث في إدارة المستعمرات الأمريكية، مسببا بذلك الثورة الأمريكية وميلاد الولايات المتحدة الأمريكية. وفي القرن التاسع عشر كانت فكتوريا ملكة إنجلترا واحدة ممن اعتلى العرش بعده حاملة لمرض الناعور. وعندما تزوج العديد من أولادها التسعة نشروا جين الناعور في البلاطات الملكية في أوروبا، مسببين بذلك تخريبا كبيرا (كان ثلاث من بناتها حاملات له مثلها تماما بينما كان ابنها ليوبولد مصابا به). وقد تأسفت على ذلك قائلة: «يبدو أن عائلتنا المسكينة معاقبة بهذا المرض، وهو أسوأ ما عرفته». وفي روسيا انتقل جين فكتوريا إلى حفيدتها أليكساندرا التي تزوجت

من القيصر نيقولا الثاني، وقد أصيب ابنها ألكسي بالناعور، وقد استخدم القس القوي الشخصية والسيء السمعة راسبوتين قدراته التنويمية للتحكم في نزفه، وبالتالي سيطر بشكل كبير على العائلة المالكة. ويدعي بعض المؤرخين أن راسبوتين شل البلاط الملكي الروسي، وأخر إصلاحات ضرورية جدا، وساعد في تهيئة الظروف للثورة البلشفية عام ١٩١٧. وكما كتب عالم الجينات ستيف جونز من كلية الجامعة في لندن «من الغريب التفكير في أن الثورتين: الروسية والأمريكية يمكن أن تكونا قد نجمتا عن حوادث طرأت على «د. ن. أ» الأسرة الحاكمة».

ويمتلك العديد من هذه الأمراض أعراضا مؤثرة تقود إلى موت بطيء ومؤلم، وبعضها غريب حقا مثل أعراض ليش نيهان الذي يصيب ٢٠٠٠ شخص في الولايات المتحدة، حيث يعلك المرضى الصغار أصابعهم بالفعل في نوبات من التشويه الذاتي خارجة عن السيطرة. ويمكن أن تكون بعض الأمراض الجينية الأخرى مشوهة حقا مثل مرض الورم الليفي العصبي، الذي يصيب شخصا من كل ٤ آلاف شخص، حيث يطفح جلد المريض بأعداد من الأورام البنية الصغيرة (قد يكون أشهر ضحية لهذا المرض هو جون ميريك «الرجل الفيل» الشهير من أواخر القرن التاسع عشر).

وتاريخيا، فإن أكثر الأمراض الوراثية إثارة للخوف هو مرض هانتجتون، الذي ارتبط لفترة طويلة بالسحر وعبادة الشيطان (بما في ذلك ساحرة بروتون الشهيرة من عام ١٦٧١). وقد طوردت عائلات الضحايا من دون رحمة ونفوا إلى معسكرات، كما لو كانوا مصابين بالجذام. ويفقد المرضى به سيطرتهم على عضلاتهم وعقلهم تدريجيا، ويتعرض الجسم غالبا لانتفاضات عنيفة ولحركات راقصة غريبة، حتى يغص ببقع سوداء وزرقاء. ويموت العديد منهم من مشاكل التعرق أو الجوع. وبما أن تخبطهم العنيف قوي جدا، لذا ليس من الممكن تغذيتهم فيزيائيا. ويؤثر هذا المرض في ٣٠ ألف شخص في الولايات المتحدة، وهناك ١٥٠ ألفا آخرون معرضون للخطر.

وقد أصبح بعض الأمراض الوراثية مثل ضمور العضلات معروفا جيدا بسبب جامعي التبرعات على التلفزيون. ويصيب العديد من الأمراض الجينية مجموعات عرقية وبشرية معينة.

تليف البنكرياس الحوصلي

وهو أكثر الأمراض الوراثية التي في العرق القوقازي شيوعا. ويمثل هذا المرض مشكلة شائعة، لأن واحدا من كل ٢٥ قوقازيا يحمله. وفي السكان البيض، فإنه يؤثر في واحد من كل ١٨٠٠ طفل، ويصيب ٣٥ ألف شاب في الولايات المتحدة وكندا. ويسجل الآن حوالى ١٠٠٠ حالة جديدة من هذا المرض كل عام في الولايات المتحدة، ويعتبر هذا المرض بمنزلة كابوس للوالدين (فهو يغلظ المخاط في صدور الأطفال)؛ مما يضعف الرئتين ويسد مجاري البنكرياس، بحيث لا يتمكن الجسم من هضم الغذاء بشكل جيد. ويعود أحد أوائل سجلات هذا المرض إلى العصور الوسطى، عندما كان هناك قول شائع بين الناس في شمال أوروبا «الألم لذلك الطفل الذي يكون مذاقه مالحا عندما يُقبَّل جبينه، إنه مسحور وسيموت سريعا».

مرض تاي ساكس Tay - Sachs

من حسن الحظ أن المسح عن بعض الأمراض أخضع بعض العيوب الجينية للسيطرة، حتى من دون معالجة جينية. ويعتبر مرض Tay - Sachs أحد الأمثلة على ذلك. وهو يؤثر في واحد من ٣٦ ألف طفل يهودي غالبا من أصل أوروبي شرقي، ومن هؤلاء فإن ١ من كل ٣٠ شخصا يحمل هذا المرض، ويهاجم هذا المرض الجهاز العصبي، ويبدو الأطفال طبيعيين عند الولادة، ولكنهم يعانون بعد ذلك تدريجيا من التخلف العقلي والعمى وفقد التحكم بالعضلات، والموت عادة قبل سن الرابعة.

أنيميا الخلايا المنجلية

يصيب هذا المرض ٤ آلاف طفل في العام في الولايات المتحدة، معظمهم من الأمريكيين من أصول إفريقية. ويصاب ١ من كل ٥٠٠ أمريكي إفريقي تقريبا بهذا المرض. ولكن حوالى ١٠٪ من كامل السكان الأمريكيين الإفريقيين حاملون لهذا المرض، وهو مرض مزمن في إفريقيا، حيث ولد ١٢٠ ألف طفل مصابين به كل عام، وفي جنوب إفريقيا فإن لدى ٤٠٪ من السكان هذا الجين.

من الآن وحتى ٢٠١٠: صيد الجينات

وبحلول عام ٢٠٠٥ عندما تُفَك شفرة الـ «د. ن. أ» البشري تماما، سيمتلك العلماء خريطة واسعة، يحددون عليها موقع جينات أجسامنا. وبحلول ٢٠١٠ من المفترض أن نحصل على قائمة جينية تحتوي على ٥ آلاف مرض جيني تقريبا، وفي أحيان عديدة يكون البحث عن هذه العيوب بطيئا. وكما قال فرانسيس كولينز فإن إيجاد جين معين من لا شيء ومن دون أي أدلة هو مثل «محاولة إيجاد مصباح محترق في بيت واقع في مكان ما بين الساحل الشرقي والغربي للولايات المتحدة من دون معرفة الولاية والمدينة والشارع الذي يقع فيه هذا البيت». وتصور للحظة تجميع كل أدلة الهاتف، التي تسجل أسماء النساء في الولايات المتحدة، ولنقل إننا نبحث عن اسم واحد فقط مهجى بشكل غير صحيح بين ٣ بلايين حرف. إن امتلاك المجموعة الكاملة من كتب الهاتف للبلد، لا يقدم الكثير نحو تحديد الحرف الوحيد الذي أخطئت تهجئته.

وحتى الآن، فقد أظهرت الثورة الجزيئية بعض المفاجآت في عملية كشف سر الأمراض الوراثية، وبصورة عامة فقد كانت الجينات المعطوبة التي وجدت طويلة جدا، مما يزيد كثيرا من احتمال الخطأ. وفي حالات كثيرة ينشأ مرض جيني من خطأ وحيد، وفي أحيان أخرى فإنه ينشأ من تكرار غريب لبعض الأجزاء الجينية. وهنا تسجيل مختصر لبعض الأخطاء الجينية التي عُزِلت حتى الآن، والتي تظهر كيف أن أصغر أخطاء التهجئة ضمن الجينوم البشري يمكن أن يسبب معاناة لا تنتهي.

مرض هانتجتون:

يوجد (جين هانتجتون IT-15) وطوله ٢٠ ألف زوج قاعدي على الذراع القصيرة للصبغي ٤، ويشترك هذا الجين في إنتاج ناقلين عصبيين دماغيين استيل كولين وحامض جاما أمينوبيوتيرك. وفي الأشخاص العاديين هناك تكرار للثلاثي CAG، الذي يتكرر من ١١ إلى ٢٤ مرة، وفي شخص مصاب يتكرر CAG أكثر من ذلك بكثير وأحيانا أكثر من ٨٠ مرة،

ويخفض كثيرا من هاتين المادتين الكيميائيتين. وكلما تكرر الثلاثي CAG أكثر من ٤٠ مرة زادت شدة المرض.

تليف البنكرياس الحوصلي

حُدِّد هذا الجين العام ١٩٨٩ من قبل فرانسيس كولينز ولاب تشي تسوي على الصبغي ٧، ويبلغ طوله ٢٥٠ ألف زوج قاعدي. ويمكن أن يحدث التليف بحذف ٣ أزواج قاعدية فقط، وهو جزء بسيط جدا من المجموع. ويحدث التحول بسبب الحذف التالي للنويات:

ATCTTT ATT

ويطلق هذا بدوره تليف البنكرياس بحذف حمض أميني واحد فقط، (فينيل ألانين) من حوالى ١٤٨٠ حمضا أمينيا يرمّز بهذا الجين.

متلازمة (مرض) ليش نايهن

ينشأ هذا المرض من تحول وحيد يجعل جينا رئيسيا على الصبغي X، الذي يمتد لـ ٥٠ ألف زوج قاعدي، عاجزا عن إنتاج الإنزيم HGPRT (هيبوزانتين غوانين فوسفوري بوسيل ترانسفيراس).

الضمور العضلي

في عام ١٩٨٦ عزل العلماء أخيرا الجين المسبب لهذا المرض، الذي ينتج بروتينا يدعى ديستروفين، وهو أحد أطول الجينات التي عُزِلت حتى الآن، ويمتد عبر ٢,٥ مليون زوج قاعدي. وفي الحقيقة فإن طوله غير العادي يفسر معدل تحوله المرتفع.

ولسوء الحظ، وعلى الرغم من أنه يجب أن يكون لدينا سجل جيد بالتحولات الدقيقة، التي تسبب آلاف الأمراض الجينية بحلول عام ٢٠١٠، فقد يمتد الأمر حتى ٢٠٢٠ أو أبعد من ذلك قبل أن نمتلك علاجات للكثير منها. ويقول ليروي هود من جامعة واشنطن «إن الفجوة بين القدرة على

تشخيص الأمراض الوراثية والقدرة على معالجتها يمكن أن تكون من ٥ إلى ٢٠ عاما أو أكثر من ذلك». وإلى أن تأتي هذه الفترة الذهبية التي تصبح المعالجة الجينية فيها حقيقة واقعة، كيف يمكن أن نطبق المعلومات التي تعلمناها؟ وتلاحظ نانسي ويكسلر التي ساعدت في تتبع مرض هانتجتون أن بعض الناس «ينتهي بهم الأمر إلى المستشفى ليس بسبب المرض، وإنما بسبب الكآبة»، وذلك بعد أن يبلغوا أن لديهم مرضا جينيا لا يمكن علاجه. وفي النهاية فإن الإستراتيجية الواعدة لمقاومة الأمراض الجينية هي في التدخل المباشر عن طريق المعالجة الجينية.

متلازمة نقص المناعة الحاد المركب (SCIDS)

إن المعالجة الجينية هي الطريقة التي دافع عنها فرنسيس أندرسون من جامعة كاليفورنيا الجنوبية، والرائد الأول في هذا المجال. وقد تتبع أندرسون مرضا وراثيا نادرا دعي SCIDS (متلازمة نقص المناعة المركب الحاد)، الذي أطلقت عليه الصحافة اسم «مرض طفل الفقاعة»، وكانت أشهر حالة له هي حالة الصبي «ديفيد»، الذي ولد من دون جهاز مناعة طبيعي، ومن الممكن أن يموت من برد عادي. ولقد أمضى ديفيد حياته محبوسا داخل فقاعة بلاستيكية معقمة، ولم تستطع والدته عناقه إلا من خلال قفازات بلاستيكية خاصة. ونتيجة لنقص خلايا الدم البيضاء السليمة القادرة على حمايتهم، فإن الأطفال يصابون عادة بهذا المرض في طفولتهم. وقد أصبح ديفيد ـ قبل أن يموت عام ١٩٨٤ ـ رمزا للأمراض الوراثية المخيفة التي روعت الجنس البشري.

إن معالجة الجينات المعطوبة ليست بالمهمة السهلة، فالجسم يحتوي على ١٠٠ تريليون خلية، ومع ذلك فربما خلقت ملايين السنين من التطور أكثر «النواقل Vectors» كفاءة في تغيير هذه الخلايا: الفيروس. وبتحييد الفيروس أولا (بحيث لا يسبب إصابة الإنسان بالمرض)، يمكن للعلماء وضع الجين السليم داخل الفيروس ثم حقن الفيروس داخل جسم المريض.

وربما يثبت مستقبلا أن تجارب أندرسون نموذج رائد للمعالجة الجينية عام ٢٠٢٠، لقد قام أولا باستخلاص الدم من مرضاه اليافعين، ثم حقن فيروسه المعدل في الدم، وبعد أن يعدي الفيروس الدم ويقوم بإدخال الجين

السليم في خلاياه يعاد حقن الدم مرة أخرى إلى المريض. لقد كانت أول مريضة تعالج بهذه الطريقة فتاة في الرابعة من عمرها تدعى أشانثي ديسلفا، ولقد ادعى فريق أندرسون عام ١٩٩٥ أنه تم تصحيح الآلية الجينية لـ ٥٠٪ من خلايا الدم البيضاء للطفلة، ومع ذلك لا يزال كثير من النتائج بعد سبع سنوات من تجارب المعالجة الجينية المكثفة مخيبا للآمال، وتكمن إحدى هذه المشاكل المتعبة في أن جهاز المناعة يهاجم الفيروس والخلايا المعدلة أحيانا، ويمنع بالتالي الجينات المصححة من الانتشار داخل الجسم. ويعاني هذا الحقل بكامله تأثير تقرير قُدم عام ١٩٩٥ إلى NIH: ذكر أن المعالجة الجينية كانت «مسوّقة» أكثر من اللازم للجمهور الأمريكي، وأن معظم النتائج قد فشلت في إظهار أي تقدم طبي مهم. وقد ردد ديفيد ريموان من مركز سيدرز سيناي الطبي شكوك التقرير بقوله «تحتاج إلى قنبلة ذكية لوضع الـ «د. ن. أ» في مكانها الصحيح، وتحتاج إلى جهاز تفجير ذكي أيضا لجعلها تنطلق في الموعد الصحيح، وفي معظم الحالات لا تزال هاتان الآليتان غير متاحتين».

وعلى سبيل المثال فقد عانى المصابون بتليف البنكرياس الحوصلي أثناء التجارب من المضاعفات، عندما تفاعل جهاز مناعتهم سلبا مع الفيروس المحقون وهو «القنبلة الذكية»، التي كانت تحمل الجين الصحيح. لقد كان التقرير بمنزلة اختبار للواقع الفعلي للمعالجة الجينية، ولكنه لم يكن بالتأكيد ضربة قاضية لها. نعم لقد بولغ جدا في التجارب، وصحيح أن هذه التجارب فشلت عموما في إظهار تقدم كبير، ولكن هذا لا يقلل من تفاؤل العلماء وضحايا الأمراض الجينية. وكما يقول فرانسيس كولينز «هذا حقل جديد، هل تلوم طفلا لا يزال في المهد لأنه لم يقم ويلقي قصيدة لشكسبير؟ أعطنا فرصة من فضلك!». ومنذ ذلك التقرير عام ١٩٩٥ تحقق عدد من النجاحات الجزئية، وكما ذكر سابقا فقد وجد فريق من جامعة تكساس نقصا في حجم الأورام أو اختفاءها كلية، عندما أجريت المعالجة الجينية بـ P35. لقد أكد مايكل بلايز ـ معاون أندرسون ـ أنه من الممكن مقارنة التقدم في المعالجة الجينية بمحاولات الطيران الأولى للأخوين رايت؛ فبالرغم من وجود أولئك الذين سخروا من التجارب الغريبة التي أجراها صانعا الدراجات، فإن منطقهما وعلمهما كانا صحيحين، وخلال بضعة عقود امتلأ الجو بالآلات الطائرة.

من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠: الأمراض متعددة الجينات

إن التقدم المركز في الأمراض الجينية، الذي سيتم من الآن وحتى ٢٠٢٠ خادع من أحد الوجوه، إن النمو الأسي في فهمنا للجينوم البشري يعود إلى أتمتة عمليات سلسلة الـ «د. ن. أ» واستخدام الكمبيوتر فيها، وسيصبح التقدم بعد عام ٢٠٢٠ صعبا باطراد، عندما نواجه النوع التالي من الأمراض الجينية: الأمراض متعددة الجينات، أي الأمراض التي تنجم عن أكثر من جين واحد، وربما سيظل علاج الأمراض متعددة الجينات غير ممكن في المستقبل المنظور، لأنها تحدث من جراء التفاعل بين عدد غير معروف من الجينات، ولذا لا يمكن بسهولة استخدام الكمبيوتر في عزل جينات هذه الأمراض، وأكثر من ذلك فقد تكون هناك مسببات ناتجة عن تغير غير معروف في البيئة.

إن أحد هذه الأمراض هو انفصام الشخصية، الذي يحطم ببطء عقل الإنسان وروحه، تاركا إياه تحت رحمة أصوات مسكونة. ولقد دعته نيتشر «أسوأ مرض يصيب البشرية»: ويستنفد هذا المرض الذي يصيب ١٪ من الجنس البشري ٣٠٪ من أسرة المستشفيات في البلد. وهذا أكثر من أي مرض آخر. وهناك ارتباط مؤكد لانفصام الشخصية بالجينات، ومع ذلك فإن هذه الصلة ضعيفة. وبالنسبة للتوأم فهناك احتمال ٥٠٪ أن يكون لدى أحد التوأمين انفصام في الشخصية، إذا كان التوأم الآخر يعاني منه، وهذا يعني أن هناك عنصرا جينيا محددا لهذا المرض، ولكن بما أن العلاقة ليست ١٠٠٪، فإن هذا يشير إلى تورط عدد من الجينات، قد ينطلق بعضها من مصادر بيئية.

وهناك دليل معقول على أن واحدا - على الأقل - من هذه الجينات المتعددة لانفصام الشخصية يقع على الصبغي ٥. وقد وجد العلماء الكنديون عام ١٩٨٨، أن لدى إحدى العائلات التي تعد ١٠٤ أعضاء ٣٩ حالة انفصام شخصية، ولدى ١٥ آخرين اضطرابات عقلية أخرى. إن احتمال كون هذه العلاقة عشوائية تماما هو واحد من ٥٠ مليونا، ومع ذلك فقد ضاع الأمل في أن هذا هو الجين الوحيد لانفصام الشخصية، عندما بينت دراسات أخرى عدم وجود ارتباط مع الصبغي٥. وفي عام ١٩٩٥

أظهـرت سلسلة أخـرى من الدراسـات دلائل واعـدة على الصـبغي ٦ في المنطقة المعروفة بـ P21٦ إلى P24٦.

ويعتقـد والتـر جيلبـرت أنه من الممكن اكتشـاف عـدد من جينات انفصـام الشـخصية بحلول عام ٢٠١٠، ومن المحتمل أن نمتلك بحلول عام ٢٠٢٠ فهما جيـدا لطرق تفـاعل هذه الجينات مع بعضـهـا البـعض ومع البيـئة، ولكن من المحتمل أيضا أن يبقى العلاج غير ممكن.

من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠: معالجة الخط السلالي التناسلي

تركـزت الإثارة حـول إصـلاح جينـاتنا إلى الآن على المعـالجـة الجـينيـة لخـلايا جسـدية somatic، أي لخـلايا داخل أجسـامنا لا تشـتغل بعمليـة التكاثر، وعندما يموت الفرد فإن الخلايا المصححة تموت معه. إن المعالجة الجينيـة للخط السـلالي التناسلي Germ-Line أكثـر عـرضة للجـدل، لأنها تتضمن التحكم في الـ «د. ن. أ» لخـلايا الجنس لدينا. ومن حيث المبدأ فإن مـعـالجـة الخط السـلالي التنـاسلي يمكن أن تنهي الأمـراض الجـينيـة لدى الأجيـال فـي المسـتقبل، وإذا نجـحت فليس على الأحـفـاد أن يخـافـوا مـرة أخرى من مرض جيني معين، ولكن مـثل هذه المعالجة يثيـر أسئلة أخلاقية وخلقية جادة، وسأعالجها في الفصل الثاني عشر لأنها تتعلق بالتدخل في «د. ن. أ» الجنس البشري.

ويتوقع العلمـاء أن يحققوا في يوم مـا اكتشـافات مـذهلة، ستجعل مـعـالجة الخط السـلالي التناسلي احتمـالا واقعـا للبشـر، وقد تمكن العلماء منذ مدة من إجراء تحكم بسيط في الخط السـلالي التناسلي في الحيـوانات، وليس هنـاك في المنظور مـا يمنع من تطبـيق هذه التكنولوجيـا على الإنسـان. ومن الواضح أن هناك احتمالا لاستخدامها فيما ينفع الناس أو يضرهم.



9 الطب الجزيئي والصلة بين العقل والجسم

في عام ١٩٩٤ خرجت الصحافة البريطانية الشعبية بهذا العنوان الرئيسي الصارخ: «حشرة اللحم أكلت أخي في ١٨ ساعة!». وقد سيطرت الصور المفزعة لوجوه بشرية تؤكل من قبل بكتيريا قاتلة على الأخبار. وفي العام الثاني، أبرزت العناوين الرئيسية قصة كئيبة حول اندلاع مرض إيبولا في زائير. واتجهت فرق الطوارئ من كل أنحاء العالم نحو قرى الريف في زائير بسرعة؛ لوقف انتشار هذا المرض الغامض وغير القابل للعلاج، الذي يقتل أكثر من ٩٠٪ من ضحاياه. وعلى الرغم من أن الإيبولا ليس مرضا سريع الانتشار (لأنه يقتل ضحاياه بسرعة كبيرة، بحيث لا يكون لديهم وقت لإصابة الآخرين بالعدوى)، فإن الجمهور الخائف يتهافت على اقتناء أي كتاب حول هذا الموضوع، مما زاد من مبيعات بعضها، ووضعها في قائمة الأفضل مبيعا.

ويبدو أن علم الطب في القرن العشرين أُخذ على حين غرة بالقصص المخيفة حول البكتريا

«كرتي السحرية تنبئني بأن فهما متزايدا لجهاز المناعة، وأن قدرة متنامية على التحكم فيه جينيا، سيكون لهما تأثير كبير في السنوات العشر أو العشرين القادمة»

ستيفين روزنبرج

رئيس الجراحين

معاهد البحوث الصحية

«آكلة اللحم»، و تفشي الإيبولا والتفشي الذريع للإيدز ومرض «جنون البقر»، وموت أطفال المدارس بسبب بكتيريا E. Coli، وقدوم موجات من البكتيريا المقاومة لكل أنواع المضادات الحيوية المعروفة.

لقد كان نجاح علم طب القرن العشرين، خلال السنوات الخمسين الماضية، عظيما جدا، بحيث أغرى الأطباء بالاعتقاد أن عددا من الأمراض قد ُقهر للأبد، ولكنهم وجدوا بعد ذلك سلالات جديدة مميتة من هذه الأمراض تهدد المجتمع. وعودة إلى عام ١٩٦٩، حيث أعلن رئيس الجراحين في الولايات المتحدة وليام ستيورات بجدية أن «الوقت قد حان لإغلاق كتاب الأمراض المعدية»، وقد تنبأ العديد من المستقبليين ـ الذين وجدت عباراته صدى لديهم ـ أن العالم سيكون خاليا من الأمراض المعدية في القرن الحادي والعشرين، في حين أن الواقع ـ كما يتكشف لنا الآن ـ يثبت أن العكس هو الصحيح مع العودة إلى ما يشبه حكايات العصور الوسطى عن الجراثيم.

ولم يقدر العلماء تماما أن الفيروسات والبكتريا تتحول وتتطور بشكل مستمر، وأحيانا أسرع بملايين المرات من البشر؛ كي تتحاشى أقوى دفاعاتنا وتتغلب عليها. وبالرغم من المحاولات التي بذلت من قبل الطب الحديث، فمن المحتمل أن تظل الأمراض المعدية التي كانت على سطح الأرض لبلايين السنين قبل وجود البشر، موجودة لعدة بلايين أخرى من السنين.

وعلى الرغم من إعلان عناوين الأخبار الرئيسية عن أمراض اكتسبت مقاومة، لتصبح غير قابلة للعلاج وتقتحم دفاعاتنا الطبية، فإن هذه العناوين تفوتها القصة الحقيقية، وهي أن لدينا سلاحا جديدا في حربنا القديمة المستمرة ضد المرض. إن التقارب القوي لثورات الكم والكمبيوتر والـ «د. ن. أ» يؤذن بميلاد علم جديد وهو «الطب الجزيئي»، الذي يعد بتقديم طرق جديدة لمكافحة التحديات التي تفرضها هذه الأمراض المعدية في القرن الحادي والعشرين.

وهناك الآن جهود تبذل للتوصل إلى أدوية جديدة: بتحليل النقاط الجزيئية الضعيفة للأمراض على الكمبيوتر، باستخدام الواقع الافتراضي. لقد كان الـ HIV أول فيروس يُهاجَم بالقوة الكاملة للطب الجزيئي، ولقد فُكِّك بشكل منظم، بروتينا بروتينا وتقريبا ذرة ذرة حتى أُظْهِرتَ كل نقاط

ضعفه الجزيئية. ونتيجة لذلك، فإن لدى العلماء، لأول مرة، أملا جديدا في علاج محتمل له، إن الهجوم المركز على فيروس الـ HIV سيحدد سرعة تقدم الطب الجزيئي في القرن الحادي والعشرين.

وبحلول عام ٢٠٢٠ سيمتلك الأطباء كتالوجات ضخمة، تحتوي على الجينومات الكاملة لمئات الفيروسات والبكتريا، إضافة إلى سلاسل الـ «د. ن. أ» الخاصة بنا، معطية إيانا معرفة لم يسبق لها مثيل على الآلية الداخلية لدخول الأمراض إلى أجسامنا، وتكاثرها فيها وتأثيراتها المرضية.

الطب الجزيئي خلال ٢٠٢٠: التخلص من الفيروسات القاتلة

إن إحدى المهمات في القرن الحادي والعشرين لمراكز مراقبة الأمراض، والوقاية من المرض CDC أتلانتا، ولمعهد البحوث الطبية للأمراض المعدية في فريدريك ميرلاند التابع لجيش الولايات المتحدة، هي الحد من انتشار الفيروسات، «وهي التهديد الأعظم لبقاء النوع البشري، ذلك أن انتشار «فيروسات يوم القيامة» مثل: الإيدز أو الإيبولا التي ينقلها الهواء»، يمكنه أن يهدد وجود الحياة البشرية ذاتها.

كان فيروس الجدري أحد أعظم القتلة في تاريخ الإنسان. وكان هذا المرض الذي ربما عبر من الحيوانات إلى البشر منذ حوالى ١٠ آلاف سنة قاتلا فتاكا بالبشر منذ ذلك الوقت. وفتك بجيش الإسكندر الأكبر في القرن الرابع قبل الميلاد، وقتل الإمبراطور الروماني ماركوس أوريليوس، وأدى إلى تدمير حضارات بكاملها، وتمزيق إمبراطوريات عظيمة إلى أشلاء. وحتى الستينيات كان يصيب ١٠ ملايين إنسان في العالم، ويقتل أكثر من مليوني شخص كل عام.

ولكن منظمة الصحة العالمية التابعة للأمم المتحدة، بدأت منذ عام ١٩٦٦ برنامجا ضخما للتطعيم ضد الجدري، استهدف ٣١ دولة، بينما انخفض عدد حالات الجدري بسرعة إلى الصفر. كسرت دورة حياة هذا المرض (الذي يصيب مستضيفيه من البشر فقط) في النهاية، وعندما لم يبلغ عن إصابات جديدة، فقد تحطمت سلسلة العدوى به في النهاية، وبحلول ٨ مايو ١٩٨٠ أعلنت منظمة الصحة العالمية ـ رسميا ـ القضاء على الجدري.

واليوم بقي نوعان من فيروس الجدري المميت على سطح الأرض: أحدهما في جناح محاط بإجراءات أمن مشددة في الغرفة B٣١٨ (مركز مراقبة الأمراض والوقاية)، والآخر على بعد ٥ آلاف ميل في مركز بحوث الجراثيم والتكنولوجيا الحيوية في كولتسوفو، نوفوسيبرسك في روسيا. وكان من المقرر أن يقوم العلماء في المركزين في وقت واحد في يونيو ١٩٩٩ بتسخين عيناتهم إلى الدرجة ٢٥٠ فهرنهايت، ويتخلصوا من الجدري من على ظهر الأرض.

وفي الحقيقة، فإن هذه الحملة الناجحة تمهد الطريق إلى حملات صحية جماهيرية في القرن الحادي والعشرين، عندما يتوقع أن تتم ملاحقة منظمة لأمراض أخرى والقضاء عليها إلى الأبد. «وبحلول عام ٢٠٢٠ ستشارك أمراض أخرى الجدري في جناح الأمن المشدد بمركز مراقبة الأمراض، بما في ذلك شلل الأطفال والجذام، اللذان تتوقع منظمة الصحة العالمية أن يُتخلَّص منهما بحدود عام ٢٠٢٠، ويتوقع العلماء أن يُتخلَّص من الحصبة بعد ذلك مباشرة، وتشمل الأمراض الأخرى التي قد تلتحق بهذه القائمة مرض الكزاز والتينيا. والأكثر صعوبة، ولكن الممكن أيضا، هما السل والملاريا.

وبحلول عام ٢٠٢٠، سيحتوي المبنى رقم ١٥ - الذي لا يبعد كثيرا عن الغرفة B٣١٨ - متحفا غريبا لأعظم القتلة في تاريخ البشرية، وسيكون أيضا موقع إعدام هذه الأمراض، لاحتوائه على آخر قارورة لهذه الأمراض قبل أن تُسخَن وتُقتَل، ولمنع أي تسرب للفيروس يُحافَظ على هذه الغرف بشكل مستمر عند أعلى درجات الأمن ، الذي يدعى مستوى الأمن البيولوجي BSL4، وتلقب الغرف أحيانا بـ «المنطقة الساخنة» أو «مختبر البذلة الزرقاء»، وتحفظ عند ضغط سالب بحيث يتدفق الهواء نحو الداخل بدلا من الخارج. وهذه الفيروسات خطيرة لدرجة أن كل عامل يلبس كما لو أنه في رحلة إلى الفضاء الخارجي. وقد وصف أحد الأطباء الشعور بالوجود على أرض BSL4 بقوله «عندما تكون في البذلة داخل المختبر فإنك معزول إلى حد كبير. إن المسألة هي بينك وبين أنبوب الهواء، إنه يشبه، إلى حد ما، جهازا للغوص تحت الماء».

وعلى الرغم من أن الجدري وأمراضا أخرى قد تواجه الاندثار في أوائل القرن الحادي والعشرين، فإنه من المتوقع أن تنتشر أمراض أخرى

مثل: الإيبولا. إن «الإيبولا» هو واحد من عدة أمراض «ناشئة»، و ربما عبرت من الحيوانات في زمن قديم وأصابت قرى منعزلة وصغيرة منذ قرون، ومن المحتمل أن التكنولوجيا والتطور الحديثين هما اللذان أطلقاها على الجمهور العام.

ومنذ عام ٢٠٢٠، ومع امتلاك العلماء لموسوعة كبيرة تحتوي على جينوم الـ «د. ن. أ» و الـ «ر. ن. أ» لمئات الفيروسات التي تصيب البشر والحيوانات، فمن الممكن إعادة بناء تاريخ تطورها الواسع وشجرة عائلتها بسرعة نسبيا. وعلى الرغم من أن الفيروسات تتحول بسرعة هائلة ، فإن فيروسا جديدا بالكامل سيمتلك بعض الـ « د. ن. أ» الذي يشبه «د. ن. أ» بعض الفيروسات المعروفة. ولتصور الفيروس نفسه على المستوى الذري، سيقوم العلماء ببلورة العينة الجرثومية، و وضعها في حزمة آلة أشعة X. وغالبا ما يعطي شكل الفيروس قرائن مهمة عن كيفية تعلقه بخلية بشرية واختراقه غشاءها وسيطرته على آلية التكاثر فيها لينتج نسخا منه. ولا يوجد حاليا إلا عدد قليل من الفيروسات، التي فُكت رموزها على المستوى الذري، ومع ذلك سيتم التعرف على البنية الذرية لمئات الفيروسات بحلول عام ٢٠٢٠.

لقد جُرِّبت هذه التكنولوجيا لأول مرة عام ١٩٨٥، عندما تمكن العلماء من الحصول على صورة جزيئية ثلاثية الأبعاد كاملة لفيروس Rhino، وهو واحد من ٢٠٠-٣٠٠ فيروس تسبب الإصابة بالبرد الشائع. لقد وضع الفيزيائيون الفيروس المتبلور في محطم ذرات يضرب البلورة بحزمة مكثفة من أشعة X، ولقد أنتجت حزمة أشعة X ٦ ملايين بايت من البيانات سُجلت على كمبيوتر فائق القدرة، وبسبب تعقد المعلومات فقد استغرق الأمر حوالى الشهر من وقت الكمبيوتر لإعادة تجميع الفيروس في النهاية في ذاكرته، وإعطاء صورة ثلاثية الأبعاد للفيروس.

لقد كشفت صورة الفيروس المطبوعة عن مفاجأة، لقد بدا الفيروس شبيها جدا بكرة القدم، عشرون مثلثا تنطبق على بعضها البعض مكونة شكلا كرويا، ويتألف غلاف الكرة من غطاء بروتيني وفي الداخل الأحماض النووية، وبتحليل البنية ذات الأبعاد الثلاثة لكرة القدم، كان من السهل رؤية كيف تجنب الفيروس دفاعات جسم الإنسان، وتنطبق هذه المثلثات بشكل وثيق مع

بعضها البعض، مما يجعل اختراق مضادات الأجسام لدفعات الفيروس صعبا، ونستطيع أيضا أن نرى، لماذا كان من السهل جدا الإصابة بالبرد.

وتظهر تحاليل فيروسات أخرى، بواسطة تشتت أشعة X، أن بعضها يشبه مركبات فضائية بآليات متخصصة في الالتصاق بالخلايا واختراقها، ويشبه أحد الفيروسات سفينة فضائية مزودة بمعدات للهبوط، ترسو بها على «السفينة الأم» (أو الخلية)، وبالمثل فقد أعطتنا هذه التكنولوجيات رؤية جديدة لكيفية عمل فيروس شلل الأطفال وفيروس الكلب، ومن المفترض أن يزودنا اكتشاف أشكال مئات من هذه الفيروسات، بأبعادها الثلاثة، بالقدرة على خلق طرق جديدة لاختراق دفاعاتها.

أصول الفيروسات

ظل أصل الأوبئة الفيروسية سرا مغلقا في معظم مراحل التاريخ البشري، مما جعل من الصعب جدا منعها، ولكن العلماء سيعرفون بحلول عام ٢٠٢٠ الأصل الجزيئي لأنواع كاملة من الفيروسات، مما سيعطينا دلائل مهمة للحد منها ومحاربتها.

لقد ساد الاعتقاد لزمن طويل، على سبيل المثال، أن معظم الفيروسات جاء من الحيوانات ، ولكن هذا الأمر ظل مجرد تخمين حتى قدوم الطب الجزيئي، مثلا كان فيروس الإنفلونزا أحد أول الفيروسات التي تم تتبع جينومها إلى الماضي، لإظهار مصدرها الغريب في مملكة الحيوان. لقد كان فيروس الإنفلونزا أحد أعظم الكوارث على البشرية، فقد قتل الوباء العالمي عام ١٩١٨ أكثر من ٢٠ مليون شخص، وهذا أكثر من العدد الذي قتل في الحرب العالمية الأولى. وقد أصيب نصف سكان العالم بهذا المرض، وقد قتل هذا الفيروس نصف مليون شخص في الولايات المتحدة وحدها، مما جعله أكبر كارثة سكانية قاتلة في القرن العشرين، لقد كان خطيرا جدا، بحيث إنه خفَّض فعلا معدل الحياة في الولايات المتحدة من ٥٢ إلى ٣٩ عاما.

وحسب إحدى النظريات، فإن أصل الإنفلونزا الآسيوية يعود إلى نوع من أنواع الزراعة الصينية، يدعى الزراعة المتعددة، وهي تقليد قديم، حيث يشتغل المزارعون بنوع فريد، يقوم على تربية الخنازير، والبط والعيش قربها. ومن

المحتمل أن تنتقل فيروسات البط إلى الخنازير عندما تأكل هذه مخلفات البط، وبالمثل تسمّد بحيرات البط والسمك بروث الخنازير، ومن الواضح أن الخنازير تعمل «كوعاء خلط» للجينات الفيروسية للبط. وتصاب الخنازير بفيروسات الإنسان والبط وتخلطهما جينيا، ثم تنقلهما بعد ذلك. ويحذر عالم الجينات جوشوا ليديبرج ـ حائز جائزة نوبل ـ بأن «أنواعا جديدة من الإنفلونزا تتشكل كل عدة أعوام من خلايا التلقيح الطبيعي لتلك الفيروسات المنتشرة في الطيور والخنازير».

إن إحدى الحقائق المخيبة للأمل هي أن فيروس الإنفلونزا الأصلي لعام ١٩١٨ اختفى دون أي أثر، تاركا البيولوجيين الجزيئين غير قادرين على تحديد سبب قتلها هذه الملايين العديدة من الناس بدقة، ولكن العلماء أعلنوا عام ١٩٩٧ عن اكتشاف رئيسي وهو أن عينات نادرة من فيروس الإنفلونزا لعام ١٩١٨، قد حفظت في عينات قديمة من الأنسجة المتبقية منذ عصر ذلك الوباء.

ويعتقد العلماء الذين يحللون الآن المادة الجينية لفيروس الإنفلونزا، أن هذا قد ينقذ في يوم ما حياة عشرات الملايين من الناس، إذا أمكنهم منع تكرار كارثة انتشار المرض القاتل. وفي الحقيقة، فإن التحليل الجيني لفيروس الإنفلونزا دقيق جدا، بحيث يستطيع العلماء تمييز أنماط مختلفة منه وحساب «المسافة الجينية» بين هذه الأنماط، وحتى توقع متى يمكن أن يحدث الوباء التالي.

إن الطب الجزيئي يعطينا، لأول مرة، القدرة على رسم شجرة عائلة الفيروسات، وتتبع أصولها، وربما اقتراح طرق للتحكم فيها عند المنبع، كما في حالة الزراعة المتعددة. ومن المفترض أن يتوافر لدينا بحلول عام ٢٠٢٠ فهم كامل تقريبا، لكيفية تطور الفيروسات وانتشارها، الأمر الذي قد يساعدنا بدوره على قهر أحد أعظم التحديات في القرن الحادي والعشرين وهو الإيدز.

الـ HIV ـ نموذج للقرن الحادي والعشرين

يعتقد بعض العلماء، أن الهجوم الحالي المركز على فيروس الـ HIV المسبب للإيدز، قد يكون نموذجا جديدا للمستقبل، وذلك عن طريق

استخدام الطب الجزيئي؛ للكشف عن نقاط الضعف الجينية الجزيئية في الفيروس أو البكتيريا، ومن ثم تصميم معالجات جديدة. لقد كان الـ HIV أحد أول الفيروسات، التي هوجمت بشكل رئيسي على المستوى الجزيئي، خالقا معالجات جديدة، صممت بمحاكاة للعمليات الكيميائية على الكمبيوتر.

ولأول مرة، هناك تفاؤل حذر بحصول تقدم، وأن من الممكن لـ «خليط» من أدوية مضادة للـ HIV أن تقص مستوياته إلى الحد الذي لا يمكن فيه قياس عدد الفيروسات. وبالرغم من أن هذه الأدوية غالية جدا (حيث تكلف بحدود ١٥ ألف دولار في السنة لكل مريض)، ومع أن أصنافا مقاومة لها قد تتطور في النهاية، فإن هذه هي أول الأخبار الطيبة في المعركة ضد الـ HIV منذ سنوات عديدة. ولسوء الحظ فقد انتشر الـ HIV بشكل كبير على مدى الثلاثين عاما السابقة، بحيث إنه من الصعب لأي معالجة أن توقف انتشاره تماما، حتى وقت متقدم من القرن الحادي والعشرين.

وعلى الرغم من أنه أشيع عام ١٩٩٧ أن وفيات الإيدز انخفضت في السنة السابقة بمعدل ٥٠ في المائة في مدينة نيويورك، وبـ ١٢في المائة في الولايات المتحدة، فإن وباء الإيدز ينتشر من دون مقاومة تقريبا في معظم العالم، ولن يصل إلى ذروته حتى أوائل القرن الحادي والعشرين. وقد قدر بعض علماء الأوبئة أنه قد يكون هناك ١٠٠ مليون شخص مصاب بالإيدز بحلول عام ٢٠٠٠، وهو عدد أكبر بكثير من كل الذين قتلوا في الحربين العالميتين في القرن العشرين.

وقد أصدر البرنامج المشترك للأمم المتحدة حول الإيدز عام ١٩٩٦ أرقامه الأخيرة، التي أوضحت الانتشار المحزن لهذا المرض، فلقد ظهرت أعراض الإيدز كاملة لدى ١,٣ مليون شخص على المستوى العالمي، وهي زيادة بمعدل ٢٥ في المائة خلال عام واحد فقط، وكان عدد الأشخاص الذين ماتوا من أمراض تتعلق بالإيدز عام ١٩٩٥ بحدود ٩٠٠ ألف شخص، والأدهى من ذلك هو عدد الأشخاص المصابين بالإيدز في العالم والبالغ عددهم ٢١ مليونا، ٤٢ في المائة منهم من النساء، ويصاب كل يوم ٨,٥٠٠ بفيروس HIV، ثلثاهم من إفريقيا، جنوب الصحراء، وهذا يعني كارثة عالمية لعقود قادمة.

الكمبيوتر وشجرة عائلة الإيدز

يفسر العلماء الآن، عن طريق تحليل الـ HIV على المستوى الجزيئي، الأسرار المحيطة بالإيدز، مثل لماذا يستغرق ١٠ أعوام ليقتل ضحاياه؟ ولماذا تصعب معالجته؟ إن الـ HIV هو أبعد من أن يكون في سبات على مدى عشر سنين، فهو يشن معركة قاسية ومستمرة مع جهاز مناعة الجسم منذ لحظة الإصابة بالعدوى، ويحطم جهاز مناعة الجسم الفيروس بمعدل بليون جسيم في اليوم تقريبا (وهو حوالى ثلث الكمية الكلية)، ويحطم الفيروس بدوره حوالى بليون مساعد CD4 من خلايا T كل يوم ، التي يحاول الجسم بشكل يائس تعويضها. إن هذا الصراع الضاري الذي يسبب موت بلايين جسيمات الـ HIV والخلايا المساعدة لجهاز المناعة كل يوم يستمر لعدة سنوات، حتى ينخفض عدد الخلايا المساعدة ببطء من ألف خلية في المايكروليتر دم إلى حوالى ٢٠٠، حيث تظهر أعراض الإصابة بالإيدز ويتبع ذلك عادة الموت خلال عامين.

ويعرف البيولوجيون الجزيئيون الآن، لماذا كان علاج الإيدز باعثا على الإحباط، ففيروس الـ HIV يفتقر إلى آليات التصليح العادية التي تصحح للأخطاء الجينية في كل مرة يتكاثر فيها الفيروس، ونتيجة لذلك، فإنه يتحول بسرعة كبيرة جدا في كل مرة يتكاثر فيها بمعدل خطأ واحد لكل ألفي نوكليتيد، وهو معدل مذهل. وفي حوالى ١٠ سنوات يخضع الـ HIV إلى ما يعادل مليون عام من التحولات الجينية البشرية، ويمكن للـ HIV الذي يقتل في النهاية مضيفه أن يكون متقدما عدة آلاف من الأجيال عن الـ HIV الذي أصاب المريض في البداية.

ومن وجهة نظر جزيئية فإن الـ HIV بسيط إلى حد مدهش، فهو يتألف من ٩ جينات فقط، ويشبه إلى حد بعيد ابن عمه الـ SIV لدى القردة. لقد قدر جيرالد ماير، من معمل لوس ألاموس الوطني في نيومكسيكو، الذي حلل مئات من سلاسل الـ HIV من أنحاء العالم، أن جينوم الـ١ -HIV يبدو كأنه يتحول بمعدل هائل يعادل ١ في المائة كل عام (لقد استغرق من البشر حوالى ٥ ملايين سنة لينحرف جينومهم ١,٦ في المائة عن جينوم الشمبانزي). وبهذه الطريقة يمكن للمرء أن يستخدم الـ HIV كـ «ساعة جزيئية» لاكتشاف متى تفرعت أصناف معينة عن أصناف أخرى.

وهناك ٦ أنواع فرعية من الـ HIV تختلف بحوالى ٣٠٪ في جيناتها، ونحن نعلم بأن كل واحد منها يتحول بمعدل ١٪ في العام، وبالتالي ربما حدث تفرع رئيسي أو انفجار للمرض منذ حوالى ٣٠ عاما مضت، يدعوه ماير «بالانفجار الكبير». ويقول ماير: «يبدو أننا نمتلك ساعة جزيئية دقيقة، ولا توجد طريقة لتحديد أين حدث هذا الانفجار، ولكن يبدو أنه تم في أوائل السبعينيات، وقد تطورت السلالات المختلفة بالتوازي مع انتشار الوباء».

في الولايات المتحدة، يعتبر النوع الأكثر انتشارا من فيروس الـHIV هو النوع B، والذي يمكن نقله عبر الشذوذ الجنسي، وعادة من خلال انتقال سوائل الجسم، من خلال تمزقات صغيرة في الجلد، وقد وصل معدل حالات الـ HIV الجديدة إلى قيمة ثابتة في الشاذين جنسيا. ولكن العاملين في الصحة يتأهبون لاجتياح آخر، إذ وصلت أصناف جديدة من الـHIV تنتشر بشكل رئيسي عن طريق الاتصال الجنسي الطبيعي بين الرجل والمرأة، إلى شواطئ الولايات المتحدة، ويخشى العلماء من أن يخلق هذا انتشار المرض «إلى جمهور أكبر من السكان، كما حدث مسبقا في أجزاء عدة من العالم.

وفي دول مثل تايلاند فإن ٩٠٪ من الـHIV هو من النوع E، والذي ينتشر بالعلاقة الجنسية بين الذكر والأنثى. وتفسر دراسات أجريت من قبل ماكس إيسيكس ـ من هارفارد ـ الاختلافات فيمن يصاب بهذا المرض، وقد ظهر أن النوع E يعدي الخلايا في جدران المهبل بسهولة أكبر بكثير من النوع B، وبوجود أعداد كبيرة من المجندين في تايلاند، وازدهار صناعة الجنس فيها وسهولة السفر دوليا، فإنها مسألة وقت فقط قبل أن تنتشر هذه الأصناف المختلفة من الـHIV هنا.

الكشف عن جينوم الإيدز

إن معرفة التركيب الجيني لفيروس HIV هي المفتاح لتصميم علاج نهائي له، وعندما قام العلماء، لأول مرة، بالكشف عن تركيبته الجينية دهشوا باكتشاف أن هذا الفيروس المرتد الذي يحتوي على الـ «ر. ن. أ» بدلا من

الـ « د. ن. أ» كان الأكثر تعقيدا من جميع الفيروسات التي رأوها من قبل. ويمتلك معظم الفيروسات المرتدة ٣ جينات فقط تدعى gag، pol env إلا أن الـ HIV يمتلك حتى ٩ جينات تحتوي على ٩٢٠٠ زوج قاعدي، وترمز أهم الجينات إلى ثلاثة إنزيمات HIV بروتين وترانسكربتيز المعكوس وHIV انتجريز. وفي عام ١٩٩٤ حُدد التركيب الجزيئي ثلاثي الأبعاد لكل من هذه الإنزيمات الثلاثة. وتعتمد إستراتيجية العلماء لمهاجمة هذا الفيروس على تصنيع أدوية تتدخل في عمل هذه الإنزيمات الثلاثة المهمة. وبتحضير خليط مؤلف من أدوية تثبط هذه الإنزيمات يأمل العلماء أن يحدُّوا من هذا المرض.

ويهاجم فيروس الإيدز الخلايا على أربع مراحل رئيسية على الأقل، تقدم كل منها فرصة للعلماء لأن يصمموا علاجات جديدة (في المرحلة الأولى من هذه الصورة المبسطة يلصق الفيروس نفسه إلى مستقبلات موجودة على سطح الخلية المضيفة، مثل خلية CD4، ثم يحقن الـ « ر. ن. أ» الخاص به داخل الخلية، حيث يقوم إنزيم بتحويله إلى الـ «د. ن. أ»، وفي المرحلة الثانية يتغلغل الـ «د. ن. أ» الأجنبي إلى داخل نواة الخلية، ويسيطر على آليتها ليقوم بإنتاج أنواع طويلة من الـ «ر. ن.أ» والبروتين اللازمين لإجراء نسخ من الفيروس. وفي المرحلة الثالثة يشطر إنزيم البروتيز هذه البروتينات الجرثومية إلى شرائط أقصر، تلائم تخليق فيروسات جديدة. وأخيرا تتشكل آلاف من كبسولات الـ HIV المتشكلة حديثا داخل الخلية، لتتفجر أخيرا مخترقة غشاء الخلية، ومالئة الجسم بجيل جديد من الفيروس القاتل).

وتظهر كل مرحلة نقاط ضعف الـ HIV، وعلى سبيل المثال، فإن AZT (آزيدو ثياميدين) دواء يصيب فيروس الإيدز في المرحلة الأولى، حيث يمنع تحول الـ «ر. ن. أ» إلى الـ «د. ن. أ»، ولأن جزيء الـ AZT يشبه كثيرا جزيء الثيميدين (باستثناء مجموعة هايدرو كسيلية مفقودة)، فإن الفيروس يضلل كي يدخل الـ AZT في عملية نسخه بدلا من الثيميدين، وبوجود AZT محل الثيميدين يتوقف تخليق الـ «د. ن. أ» ، لأن الجذر الهيدروكسيلي المفقود ضروري لخلق هيكل جزيء الـ «د. ن. أ».

وقد قدم الـ AZT في البداية علاجا مباشرا تقريبا من أعراض الإيدز، مثيرا آمالا زائفة، ولكن فورة الحماس تبخرت سريعا. ففي كل الاختبارات

اجتيح ضحايا المعالجة بالـ AZT في النهاية بفيروسات الإيدز، التي تحولت خلال عام أو عامين، ومع ذلك طورت مجموعة جديدة من الأدوية عام ١٩٩٦، هاجمت الـ HIV في نقطة مختلفة في المرحلة الثالثة، حيث يقطع إنزيم البروتيز بروتينات الفيروس إلى قطع أقصر لازمة لصنع فيروسات جديدة. وتقوم مانعات البروتيز هذه بمنع إعادة تجمع جسيمات الـ HIV في مرحلة متأخرة من عملية تكاثرها، وذلك مباشرة قبل أن تتفجر خارجة من الخلية.

لقد كانت الدراسات الأولية على مثبطات البروتيز مدهشة، فبعد ٤ أشهر من العلاج بأحد هذه الأدوية - الذي يدعى اندينافير - وجد علماء في جامعة نيويورك أن ١٣ من ٢٦ مريضا، خالون تماما من وجود أي فيروس، يمكن رصده في دمهم. وأنه لا يوجد لدى ٢٤ من ٢٦ مريضا يأخذون مزيجا من اندينافير وAZT وTC٣ أي أثر لفيروس الإيدز، وهذا ما يجعله أكثر أشكال المعالجة التي طورت ضد الإيدز قوة. وكانت هناك نتائج واعدة لمثبط بروتيز آخر هو ريتونا فير، الذي خفض نسبة الموت إلى النصف بين ١١٠٠ مريض، وقد قال جوليو مونتانير، من جامعة بريتش كولومبيا «لقد أظهرنا أنه بإمكاننا أن نحد من تناسخ الجرثوم ونحافظ عليه عند ذلك الحد».

وفي الوقت الحالي، فإن باحثي الإيدز حذرون، وكما قال هارفي كاكادون من مستشفى ببث إسرائيل في بوسطن «لا تصدق أي شخص يخبرك بأن بإمكانه أن يجتاز الصعاب، دون الخبرة والقدرة اللازمين لذلك»، والأكثر من ذلك أن الأدوية مكلفة جدا، ومن غير المعروف إذا كان هنالك نوع مقاوم سيظهر في النهاية، ولكن يبدو أن هناك تطورات جديدة تظهر كل يوم، تتعلق بالطبيعة الجينية لفيروس HIV. وفي أواخر ١٩٩٦ اكتشف جين دعي: CKR5 (وجد في ١٪ من السكان من أصل قوقازي)، يؤدي تحوله إلى جعل الشخص محصنا تماما ضد الـ HIV، وتفتقر خلايا المناعة لدى هؤلاء الأشخاص إلى «مواقع الارتباط» اللازمة لالتصاق الـHIV بها، ويمكن لهذا بدوره أن يولّد اتجاها مختلفا تماما نحو الـHIV باستخدام المعالجة الجينية لتغيير خلايا T ، بحيث لا يتمكن الـ HIV من الالتصاق بها.

وبالرغم من أن أحدا لم يدعِ بعد بأنه تمكن من قهر فيروس HIV، فإن البيولوجيا الجزيئية فتحت مداخل عدة جديدة و واعدة للعلاج، رافعة الأمل إلى مستويات جديدة، وستكون الطريق التي استخدمها العلماء وهي الطب الجزيئي، هي الطريق التي سيتم بواسطتها إجراء معظم البحوث على هذا المرض حتى العام ٢٠٢٠. وستخلي الطريقة المتعبة والمؤلمة والخطرة، التي تقوم على التجربة والخطأ، والتي استخدمت في الماضي، الطريق للبيولوجيين الجزيئيين، الذين يستخدمون بحوث الـ «د. ن. أ» ونماذج الكمبيوتر والواقع الافتراضي، لإيجاد علاج جزيئي.

ميكروبات جديدة

من المفارقة أن البكتيريا أهداف سهلة للعلم الجزيئي، أما الفيروسات، التي هي عبارة عن خيوط صغيرة جدا من الـ «د. ن. أ»، والـ «ر. ن. أ»، تتكاثر بالسيطرة على نظام التمثيل الغذائي في خلايانا، فتصعب مهاجمتها من دون تحطيم خلايانا ذاتها. ولسوء الحظ فقد سُمح للبكتيريا المقاومة أن تزدهر بسبب سياسات صحية غبية وقصيرة النظر، إن الجرثومة آكلة اللحم، على سبيل المثال، هي واحدة من سلسلة أنواع متحولة من المكورات العقدية، التي تسبب التهاب الحلق، ويستطيع النوع الأكثر نشاطا في التحول تحطيم بوصة مربعة من الخلايا في الساعة، وهو معدل ضخم. وبالرغم من أنه لا يزال بالإمكان معالجته بالمضادات الحيوية فإن السلالات المرتبطة بها قد طورت مناعة ضد المضاد الحيوي إريثرومايسين، جيم هينسون - مؤسس موبيت الشهيرة والمحبوب من ملايين الأطفال - بسبب عمله الإبداعي على الدمى مات بسبب نوع مقاوم من هذه الجراثيم عام ١٩٩٠.

وبتسارع معدل التصنيع، نتوقع ظهور أمراض أكثر مقاومة وانتشارا، ففي عصر الطائرة النفاثة، فإن ساعات قليلة جدا من السفر جوا تفصل معظم أنحاء العالم عن الولايات المتحدة. وكما أشار إلى هذا جيمس هيوز من مراكز التحكم في الأمراض «إن مرضا موجودا في مكان بعيد اليوم، قد يصل إلى فنائنا الخلفي غدا، فنحن لسنا محصنين بالتأكيد». وعلى سبيل المثال، فإن

مرض المحاربين القدامى، وأعراض الصدمة السامة ومرض Lyme هي أمثلة لأمراض انتشرت، نتيجة لعملية التحديث في الولايات المتحدة.

إن الدرس الذي نتعلمه هنا، هو أننا نسبح في محيط من المرض، وبجلوسنا في مقاعدنا ونحن نأكل عشاءنا، أو بتنزهنا في حديقة فإننا محظوظون، لأننا لا نشعر بأن هناك ملايين الجراثيم، التي تغطي كل بوصة مربعة تقريبا مما حولنا، وداخل أجسامنا توجد جراثيم أكثر من العدد الكلي للبشر، الذين مشوا على ظهر الأرض حتى الآن.

ونحن ننسى أن جهاز المناعة لدى أسلافنا شن حربا صامتة، ولكنها شعواء، ضد المرض منذ بلايين الأعوام على هذا الكوكب، وطور ملايين الاحتمالات الجزيئية المختلفة لتحطيم أولئك المغيرين غير المرغوبين. وبينما تطور الـ « د. ن. أ » لدينا لخلق دفاعات جديدة ضد هذه الأمراض، فقد طورت الجراثيم بدورها آليات معقدة لاختراق هذه الدفاعات في حلقة صراع حياة أو موت لا تنتهي. وكما عبر عن ذلك أحد الكتاب: «بالرغم من أن الإنسان يستطيع أن يبني مصيدة أفضل لاصطياد الفئران، يبدو أن الطبيعة تبني دائما فأرا أفضل»، ولسوء الحظ فإن للبكتيريا دائما اليد العليا، لأنها تستطيع أن تتطور في يوم واحد بمقدار ما نتطور به خلال ألف سنة، مما يعطيها ميزة في تطوير آليات جديدة لتجنب دفاعاتنا.

ومع استخدام المضادات الحيوية، بعد الحرب العالمية الثانية، تمت السيطرة على أمراض قاتلة مثل ذات الرئة والسل والكوليرا والملاريا والزهري والتهاب السحايا... وغيرها مؤقتا للمرة الأولى. وفي الحقيقة فقد قدر أن متوسط أعمارنا قد ازداد بحوالى ١٠ أعوام بسبب المضادات الحيوية لوحدها. وهناك اليوم أكثر من ٨ آلاف مضاد حيوي معروف، ويصف الأطباء حوالى ١٠٠ نوع منها بكم كبير، لأنها فعالة ضد أنواع واسعة من البكتيريا. وتصل مبيعات المضادات الحيوية في العالم حاليا إلى ٢٣ بليون دولار في العام، ولكن مع تدني معدل الموت من العدوى بهذه البكتيريا، فقد قل تدريجيا اهتمام الجمهور وصناعة الأدوية بهذه الأمراض القديمة، وليس من المستغرب أن الضياع المحتم لهذه الدفاعات، سيكون له تأثيرات خطيرة في مستقبل الصحة العامة.

الإفراط في استخدام المضادات الحيوية وآثاره العكسية

عندما ينظر أطباء عام ٢٠٢٠ نحو علم القرن العشرين، فإنهم سيدهشون من سياسات الماضي الغبية والقصيرة النظر، متعجبين من اعتقاد أطباء القرن العشرين، بأن الانتصار في مناوشة صغيرة ضد البكتيريا هو بمنزلة انتصار في الحرب. لقد أدت زيادة الاستعمال الشائع واللامبالي للمضادات الحيوية اليوم، إلى قتل كل البكتيريا باستثناء أقواها وأشدها مقاومة، وأصبحت أجسادنا ساحة لمعركة دارونية، حيث تعيش وتزدهر فيها أسوأ سلالات البكتيريا المتحولة، وسيصبح حوالى واحد من كل ١٠ ملايين بكتيريا مقاوما لنوع خاص من المضادات الحيوية، وسوف تظهر في النهاية حفنة من البكتيريا المقاومة، وتنتشر عندما يزداد العلاج بالمضادات الحيوية. إن استخدام نوعين من المضادات الحيوية يزيد قوة الدواء، لأن نوعا واحدا من ١٠٠ تريليون نوع من البكتيريا في المتوسط، ستكون مقاومة للمضادين معا، ومع ذلك، فإننا إذا انتظرنا طويلا بما يكفي، فستظهر عاجلا أم آجلا بكتيريا متحولة مقاومة لهذين المضادين.

وفي عام ١٩٧٧، على سبيل المثال، اكتُشفت الأنواع الأولى من مكورات التهاب الصدر (والتي تسبب ذات الرئة) المقاومة للبنسلين، وهناك اليوم أنواع متحولة من بكتيريا التهاب الصدر، مقاومة للبنسلين والسيفالوسبورين والمضادات الحيوية الأخرى.

في عام ١٩٩٢ توفي ١٩ ألف مريض في الولايات المتحدة، نتيجة الإصابة بالتهابات بكتيرية. وساهمت هذه الأنواع المقاومة بشكل غير مباشر في وفاة ٥٨ ألف شخص إضافيين، وكما قال روبرت شوب أستاذ علم الأوبئة في كلية ييل الطبية: «إذا لم نسيطر على الأمور، فإننا سنواجه مشاكل جديدة تشبه وباء الإيدز أو وباء الإنفلونزا». ويحذر فريد تينوفر من مركز مراقبة الأمراض والوقاية أن «هناك كائنات حية الآن، لا تزال نادرة لحسن الحظ، تقاوم كل مضاد حيوي معروف، وليس هناك سوى عدد محدد من الطرق، نستطيع بواسطتها مهاجمة البكتيريا بيو كيميائيا، لقد استنفدنا معظم الأهداف البسيطة، وقد وصلنا في الواقع بالنسبة لبعض الكائنات الحية إلى نهاية الطريق».

والأسوأ من ذلك أن شركات الأدوية تكاسلت أيضا في التفتيش عن مضادات حيوية جديدة، ويقول ميتشل كوهين ـ وهو أخصائي الأمراض المعدية في مركز مراقبة الأمراض والوقاية ـ «لقد استنفدنا الأدوية ونحن نقترب من مرحلة الجراثيم القاتلة، ويمكن أن يسبب هذا كارثة»، والمشكلة هي أن على شركات الأدوية أن تنفق كمية كبيرة من إمكاناتها على أدوية جديدة، وبما أن إنزال دواء جديد إلى السوق يستغرق عادة من ١٠ إلى ١٥ عاما، ويكلف ٣٠٠ مليون دولار، فقد نكون بلا دفاع أمام أمراض مقاومة معينة في أوائل القرن الحادي والعشرين.

لقد باعت شركات الأدوية أيضا كميات ضخمة من المضادات الحيوية إلى المزارعين، لمعالجة حيواناتهم وزيادة معدلات نموها، وفي إحدى الدراسات غذى العلماء دواجن المزرعة بغذاء أضيف إليه تيتراسيكلين، وخلال ٦ أشهر حملت سبع من إحدى عشرة دجاجة أعدادا كبيرة من البكتيريا المقاومة للتيتراسيكلين في أمعائها، وقد طورت بعض البكتيريا مقاومة لأربعة مضادات حيوية أخرى.

ويثير هذا أسئلة مهمة حول الممارسات التي يقوم بها قطاع الزراعة على نطاق واسع، والتي تستخدم بشكل روتيني كميات ضخمة من المضادات الحيوية، للحصول على أرباح أعلى. وتتغذى حيوانات المزارع مثل الدجاج والخنازير روتينيا بـ٢٥ مليون رطل من المضادات الحيوية كل عام، ويمثل هذا الرقم الضخم ٥٠٪ من كل المضادات الحيوية، التي تستهلك في الولايات المتحدة، وليس من المستغرب أن هذه الممارسات محرمة في أجزاء عديدة من أوروبا.

جزيئات مصممة وفق الطلب

عندما نعرف كيف تعمل الكيمياويات العضوية المختلفة على المستوى الجزيئي، سيتمكن العلماء من صنع أنواع جزيئية جديدة مختلفة، غالبا بالمحاكاة عن طريق الكمبيوتر والواقع الافتراضي، مما يمكننا من تطوير أدوية من دون تأثيرات جانبية ومضادات حيوية جديدة لأمراض مقاومة. إن التأثيرات الجانبية التي يكون بعضها مميتا أو مقعدا، هي من الخصائص

الأكثر إزعاجا بالنسبة للأدوية الجديدة، وغالبا ما تلغي استعمال معالجات جديدة واعدة، ويحدث معظم التأثيرات الجانبية لأن جزيئا يقوم بأكثر من وظيفته المرغوبة، وفي العالم الجزيئي فإن التركيب أمر حاسم. إن استخدام دواء له تأثيرات جانبية يشبه استخدام مفتاح مهترئ، يفتح عددا من الأقفال وليس قفلا واحدا فقط، ويمكن لهذا الأمر أن يسبب تأثيرات غير مقصودة.

ويمكن لأجهزة الكمبيوتر في المستقبل أن تبني «مفاتيح» جزيئية، يمكنها أن تناسب «قفلا» جزيئيا واحدا فقط، وستختبر الجزيئات في الواقع الافتراضي بحيث لا تطلق تفاعلات كيميائية غير مرغوبة، ويمكن استخدام الواقع الافتراضي أيضا لتصميم أنواع جديدة من المضادات الحيوية: فجزيء البنسلين، على سبيل المثال، يحتوي ما يدعى «حلقة بيتا لاكتم beta lectam» المسؤولة عن قواه الفعالة والتي تساعد على تحطيم جدران الخلية لعدد من البكتيريا، وتقوم حلقة البيتا لاكتم للبنسلين بعملها عن طريق شل قدرة البكتيريا على التحكم بالإنزيمات داخلها، الأمر الذي يؤدي إلى تحلل جدران خلية البكتيريا. ولأن البكتيريا لا تستطيع التحكم في هذا الإنزيم غير المستقر، فإنها تتفكك تماما.

ويقول جورج جاكوبي من عيادة لاهي Lahcy clinic في بيرلنجتون ماساشوستس: «إن هذا يشبه رمي مفك في آلة ضرورية لتأكيد استقرار جدار الخلية»، ويقدم لنا هذا بدوره طرقا جديدة لصنع «أدوية مصممة وفق الطلب»، وبتحليل الآلية الجزيئية للبكتيريا، فسيكون العلماء قادرين بحدود عام ٢٠٢٠، على أن يحددوا بشكل منتظم مواقع أخرى في البكتيريا، ضعيفة بشكل خاص أمام مضادات حيوية مثل الريبوسوم (أي مصانع صغيرة جدا للبروتين داخل الخلية)، والسبيل لتصنيع حمض الفوليك. ويمكنهم بعدها تصميم مضادات حيوية، جديدة عبر محاكاة ثلاثية الأبعاد على الكمبيوتر للبروتينات لمهاجمة هذه المواقع. على سبيل المثال، تستهدف الستربتومايسين والجينتامايسين والتيتراسيكلين، على سبيل المثال، ريبوسومات البكتيريا وتعمل أدوية السلفا والتريميثوبرم عن طريق سد طريق حمض الفوليك.

وباستخدام البيولوجية الجزيئية، بدأنا نعرف أيضا كيف طورت البكتيريا طرقا متقدمة لتحييد المضادات الحيوية، لقد طورت البكتيريا المقاومة طريقة لتحطيم حلقة بيتا ـ لاكتام للبنسلين بإنتاج بيتا ـ لاكتاميز ، الذي يكسر حلقة

البيتا ـ لاكتام عند رابطة الكربون والنيتروجين، مما يجعلها غير فعالة. ويعلق جاكوبي على ذلك «إنه هجوم مضاد مباشر من قبل البكتيريا لتحطيم المضاد الحيوي قبل أن يتمكن من الوصول إلى هدفه». وتستطيع أنواع عديدة من البكتيريا الآن تصنيع إنزيمات تحطم أو تحيّد الجزء الفعال من الدواء كما في حلقة البيتا ـ لاكتام. وقد طور بعض البكتيريا على النقيض نظاما جديدا يقوم حرفيا بضخ الدواء إلى خارج خلاياها.

على المستوى الجزيئي يعرف العلماء اليوم كيف تنشر البكتيريا هذه المقاومة إلى بكتيريا أخرى، فهناك داخل خلية البكتيريا قطع صغيرة مدورة من سلالات الـ «د. ن. أ» تدعى البلازميدات، وضمن شفرة الـ «د. ن. أ» البلازميدية، يمكن للمرء أن يحدد الخطوات الدقيقة، التي تنتج بيتا لاكتاميز، الذي يعطي مقاومة ضد البنسلين، وغالبا ما يتم تبادل البلازميدات بحرية بين البكتيريا، وحتى بين بكتيريا من أنواع مختلفة، ونتيجة لذلك إذا طورت إحدى البكتيريات مناعة ضد المضادات الحيوية، فإن بإمكانها نقل هذه البلازميدات إلى بكتيريا أخرى، وإذا شكلت بكتيريا مقاومة لكل المضادات الحيوية، فيمكن لهذه المقاومة، من حيث المبدأ، أن تسبب انهيارا رئيسيا لنظامنا الطبي، فيما يشكل سيناريو مقلقا جدا. وقد اكتُشف في عام ١٩٧٦ أن السيلان، على سبيل المثال، كان قادرا على مقاومة البنسلين عن طريق تبادل البلازميدات مع نوع مقاوم من بكتيريا E.Coli، وقد أصبح اليوم ٩٠٪ من بكتيريا السيلان في تايلاند والفلبين مقاوما.

عن الجزيئات والمتصوفين

كيف سيتعامل الأطباء عام ٢٠٢٠ وما بعده مع هذه المشاكل؟ يتمثل أحد الاحتمالات الجديدة في إعادة اكتشاف الحكمة القديمة للكهنة والمتصوفين، وسينقب الأطباء عام ٢٠٢٠ وما بعده العالم بحثا عن مصادر جديدة للمضادات الحيوية الموجودة في الطبيعة. إن لبعض الأدوية الشائعة مثل الإسبرين والكودين والكوينين والريسيرين (لارتفاع ضغط الدم) والفينبلاستين (يعالج مرض هودجكن) ومرض عروق الذهب «(الذي يسبب التقيؤ) أصولا في الموروث الشعبي القديم، وعلى سبيل المثال اكتشفت

أدوية جديدة عن طريق تحليل المواد السامة في سم بنادق النفخ»(*)، التي تحتوي على سم نباتي، كما يحتوي جلد ضفدع إفريقي على مادة كيميائية قد تكون الأولى في سلسلة جديدة من المضادات الحيوية، وقد استخدمت لمعالجة مرض الحصف الجلدي.

ويمثل بول كوكس - وهو مبشر مورموني سابق - نموذج المستكشف الذي جذب اهتماما حادا من المجتمع الطبي، ولقد كان ناجحا بشكل خاص في البحث عن أدوية جديدة من ساموا (فهو يتكلم لغة ساموا بطلاقة، وقد نُصّب أخيرا زعيما من زعماء الساموا). لقد سمع كوكس عن شامان Shamans، أو كهنة يمارسون الطب الشعبي في جزيرة أوبولو بالقرب من ساموا، يتكلمون عن نبات فعال ضد الحمى الصفراء، وقد أرسل كوكس النباتات إلى معهد السرطان الوطني، الذي فصل مادة قوية مضادة للجراثيم دعيت بروستاتين، هي الآن إحدى المواد المرشحة من قبل المركز لمعالجة الـHIV. وعادة فإن معدل النجاح في الحصول على أدوية واعدة وسط الحياة النباتية منخفض جدا، وهو أقل من ١٪ ، ولكن كوكس تمكن عن طريق الاستماع بصبر إلى حكمة السكان المحليين، أن يحقق نجاحا بمعدل ٧٪، وبالفعل فقد وجد أن ٨٦٪ من النباتات، التي حللت أخيرا من قبل كوكس وعلماء من جامعة أوبسالا، تظهر نشاطا بيولوجيا مهما ضد المرض. وبعد تحليل آلاف النباتات والحيوانات المبشرة تأتي العملية المعقدة لاستخلاص العنصر الفعال من كل واحدة منها. وهنا تتدخل ثورة الكمبيوتر مرة أخرى، لقد كان البحث عن أدوية جديدة في السابق عملية تجربة وخطأ دائما، وغالبا ما كانت عملية خاطئة. فلكل ١٠ آلاف مادة حللت، أظهرت ١٠٠ منها نتائج مبشرة، وجرب ١٠ منها على البشر، ووجد أخيرا أن واحدة منها فقط فعالة ووضعت في الأسواق. ولكن هذا من المنتظر أن يتغير بشكل كبير في القرن الحادي والعشرين. لقد أدى إدخال مختبرات الإنسان الآلي إلى تسريع هذه العملية بعدة آلاف المرات، فبينما يستغرق انتخاب عدة آلاف من المواد الكيميائية باليد سنوات من العمل والتجارب المضنية على الحيوانات، فإن مختبرات «الكيمياء التركيبية» الآلية الجديدة يمكنها أن تنتخب ملايين المواد خلال

(*) سم بنادق النفخ BLOWGUN POISON: نوع من السموم يضعه الهنود الحمر في سهام مريشة، يُطلق على الضحية باستخدام أنبوب عن طريق النفخ، ويستخرج هذا السم من أشجار في أمريكا الجنوبية، حيث استخدمه الهنود الحمر في حروبهم (المراجع).

أشهر، ودون استخدام الحيوانات على الإطلاق، ولن يزيد هذا من كفاءة بحثنا عن مضادات حيوية جديدة فحسب، ولكنه سيخفّض تكاليف ذلك بشكل كبير. ويعتبر هذا موضوعا حساسا بسبب الارتفاع الحاد في تكاليف أدوية جديدة وغريبة مما أرهق الناس والنظام الصحي في الولايات المتحدة (حاليا قد يصنّع كيميائي واحد ٥٠ مركبا جديدا في العام بكلفة ٥ إلى ٧ آلاف دولار لكل مركب. ويمكن للطرق الجديدة التي يستخدمها الكمبيوتر أن تخفض هذه الكلفة، بحيث يتمكن كل كيميائي من تخليق ١٠٠ ألف مركب جديد بكلفة بضعة دولارات لكل مركب).

كيف يعمل هذا الاتجاه الجديد لاستخدام الإنسان الآلي؟ في تجربة واحدة على ١٠٠ألف مركب كيميائي توضع المركبات الواعدة في صف طويل من الأنابيب، التي تحتوي على بروتين أو مادة تسبب مرضا معينا، وتنظر الماسحات الضوئية بعد ذلك في الأنابيب لترى إذا كانت هناك أي مؤشرات غير طبيعية، مثل إنتاج متزايد للإشعاع فوق البنفسجي ، الذي يشير إلى حدوث تفاعل. يتم بعد ذلك اختيار المركبات التي تفاعلت، ثم تحقن بمواد كيميائية جديدة ، هي نماذج مختلفة نوعا ما عن المركبات الأصلية في الأنابيب. (وتبدأ العملية مرة أخرى، وفي كل مرة يُقتَرب من المادة الكيميائية التي تسبب التفاعل في المركب. ويصف إدوار هورفيتز ـ وهو محلل في مجال البيوتكنولوجي في روبرتسون ستيفان وشركاه ـ هذه العملية على أنها (تحول نموذجي وعميق في تطوير الدواء)، وعندما يُعزَل العنصر الفعال يستطيع البيوكيميائيون أن يمسحوا هذا الجزيء لمعرفة كيف يؤدي هذا المضاد الحيوي عمله بكل دقة).

ويقوم العلماء منذ فترة بعزل مضادات حيوية جديدة تستهدف النقاط الضعيفة في آلية خلايا البكتيريا، على سبيل المثال تقوم إحدى الإستراتيجيات على التدخل بطريقة البكتيريا في الحصول على الأحماض الأمينية، والتي هي بمنزلة حجر الأساس في بناء البروتينات. ومتى تمت إعاقة الآلية التي تنتج الأحماض الأمينية، فإن البكتيريا تصبح غير قادرة على التكاثر.

من المفترض أن تُقدم هذه الطريقة التي يستخدم فيها الكمبيوتر في البحث عن مضادات حيوية، بحلول القرن الحادي والعشرين، مئات الطرق البيوجزيئية الحديثة لمهاجمة جدران خلايا البكتيريا وريبوسوماتها وبناها الأساسية الأخرى.

الصلة بين الجسم والعقل

أظهرت تجارب عدة أن لأمزجتنا، بما في ذلك الكآبة وعلاقاتنا الاجتماعية، تأثيرا مباشرا في مستوى فعالية جهازنا المناعي، وبالتالي في قدرتنا على مقاومة الجراثيم. وفي المرحلة الثالثة للطب سيكون أحد مجالات البحث استكشاف هذه العلاقة، باستخدام أدوات البيولوجيا الجزيئية. إن العلاقة بين الجسم والعقل، التي ينظر إليها من قبل الطب التقليدي على أنها شعوذة، ستكشف قريبا أسرارها للطب الجزيئي، الذي سيتمكن من اكتشاف كيفية تأثير العقل في جهاز المناعة، وبالعكس في المستوى الجزيئي والخلوي، ومن وجهة نظر معينة فإننا ندور في حلقة مغلقة في مسألة العلاقة بين الجسم والعقل، ما عدا أن فهمنا أصبح على مستوى أرفع بكثير.

لقد كانت إحدى المسائل الباعثة على الإحباط في استكشاف العلاقة بين الجسم والعقل تاريخيا، هي في الاعتماد على بيانات مستقاة من الحكايات والنوادر الشائعة، وهي بيانات تتأثر بعوامل غريبة مثل تأثير العلاج الإرضائي Placebo effect، والقدرة على الإيحاء والأحكام الذاتية، ومن دون تجارب ومجموعات تحكم وسجلات دقيقة، يصبح من المستحيل تقريبا التحقق من العلاقة بين أحكام الخبرة الشخصية والآثار العلاجية والمسكنة لها.

ومع ذلك، كان هناك - خلال الأعوام القليلة الماضية - فيض من التجارب الجديدة والتحاليل الدقيقة التي تشير إلى وجود هذه العلاقة بين الجسم والعقل. وفي عام ١٩٩٦ أظهرت دراسة محددة أجريت في كلية جونز هوبكنز للصحة العامة، أن هناك علاقة بين الأزمات القلبية والاكتئاب، وقد تتبع الأطباء ١٥٥١ شخصا لأكثر من ١٣ عاما و وجدوا أن المكتئبين كانوا أكثر المرشحين بنسبة ٤:١ للإصابة بالنوبات القلبية. وفي عام ١٩٩٣ أظهرت دراسة استهدفت تحليل لـ ٧٥٢ رجلا خلال سبعة أعوام في جوتبرج في السويد، أن الرجال المعرضين لمقادير غير اعتيادية من الضغط في حياتهم ماتوا بمعدل أكبر بثلاثة أمثال من أولئك الذين كانوا هادئين، مظهرة ارتباطا مباشرا بين طول عمر الفرد وحالته العاطفية. وفي الحقيقة، فإن المعدلات المرتفعة من الإجهاد، هي مؤشر أكبر بالنسبة لمعدل الوفاة بسبب ارتفاع ضغط الدم أو الكولسترول أو ارتفاع مستوى إكليسريد الثلاثي.

وربما كانت النتيجة الأكثر إثارة، هي عدم وجود علاقة بين عمر الفرد ومستوى الضغوط النفسية لديه، بالنسبة للأفراد الذين كانت لهم علاقات اجتماعية كاملة، وقدرة كبيرة على التفاعل مع أصدقائهم وأزواجهم وعائلاتهم، ويشير هذا إلى أن التواصل الاجتماعي يساعد على التخفيف من تأثيرات الكآبة في الجسم، كما اتضح أن العزلة عن المجتمع، تسبب معدلات مرتفعة جدا من الوفاة.

وقد أوضح علماء من جامعة كارنيجي ـ ميلون عام ١٩٩١، كيف يمكن للضغوط النفسية أن تنقص تجاوب جهاز المناعة للبرد، فعن طريق تعريض الطلاب عن قصد لفيروسات أمراض البرد وجد أن ٤٧٪ من الطلاب الذين هم في حالة ضغط نفسي، أصيبوا بالبرد بالمقارنة مع ٢٧٪ فقط لأولئك الذين لم يعانوا الضغوط. وبفحص دم الإنسان عدة مرات في اليوم، يمكن للمرء أن يجد في الحقيقة علاقة مباشرة بين نشاط خلايا الدم البيضاء، ومستويات الضغوط النفسية لديه، لقد ثبت أن جهازنا المناعي هو، نوعا ما، مؤشر إلى حالتنا العاطفية.

وفي ورقة مهمة نشرت عام ١٩٩٣، جمع علماء في جامعة ييل قائمة طويلة من البحوث عن العلاقة بين الجسم والعقل، بما في ذلك التأثيرات الضارة للضغوط النفسية في السكري ومرض القلب وتفشي السرطان ونوبات الربو ومرض الأمعاء، وقد أثرت هذه الضغوط بشكل سلبي أيضا في الجهاز العصبي نفسه، مسببة تخريبا في قرين آمون Hippocampus الدماغ، وبالتالي في ذاكرتنا. وتؤيد دراسات أخرى أجريت أخيرا، العلاقة بين الضغوط النفسية وأمراض أخرى مثل:

- علاقة الإصابة بالهربس والضغوط النفسية والتوتر.
- حدوث سرطان القولون والتوتر والضغوط النفسية.
- حدوث مرض القلب والشعور بفقدان الأمل.
- العلاقة بين التفاؤل والبقاء على قيد الحياة، بعد عملية جراحية للقلب.
- العلاقة بين الغضب والبقاء على قيد الحياة، بعد أزمة قلبية ثانية.
- معدل النوبات القلبية والاكتئاب.
- معدلات النجاة من سرطان الثدي، والمشاركة في مجموعات الدعم.

إن قائمة النتائج التجريبية والوبائية طويلة حقا، وقد ظلت صحيحة بعد مراجعة المطلعين في المجلات الطبية المعروفة.

وستكون إحدى مهمات علم الطب في القرن الحادي والعشرين، هي إيضاح كيفية عمل هذه العلاقة بين الجسم والعقل، على المستوى الجزيئي بدقة: فمن ناحية، هناك علاقة مؤكدة بين عواطفنا وجهاز الغدد الصماء لدينا، وعند مواجهة حالة طارئة تهدد الحياة، يرسل عقلنا إشارات كهربائية لغددنا لإفراز الأدرينالين والنورادرينالين والكورتيزول التي تدور بعد ذلك ضمن الدورة الدموية، وتهيىء الجسم لاستجابة «الهرب أو المواجهة»، ويرسل الدماغ أيضا إشارة إلى الغدد لإنتاج مخدرات طبيعية مثل بيتا ـ أندروفين وانكافلين للاستعداد لألم محتمل. إن ملء جسمنا بهذه الهرمونات القوية، يؤدي إلى كبح جهازنا المناعي (ربما كانت هذه استجابة تطورية قديمة جدا، للمحافظة على قدراتنا في حالة طارئة).

وقد أجرى علماء في المعهد الوطني للأمراض العقلية عام ١٩٩٦ دراسة دقيقة حول تأثير الاكتئاب في النساء (وكان متوسط العمر لهؤلاء النسوة ٤١ عاما)، وقد وجدوا أن النساء المكتئبات يعانين نقصا ٦,٥ ـ ١٤٪ في كثافة العظام، و وجد أيضا أن لدى هؤلاء النسوة مستويات أعلى من هرمون الكورتيزول، الذي يمكنه أن يسبب فقد العظام، وفي حالات ثلث عدد النسوة موضوع الدراسة، كان فقد العظام قويا جدا، بحيث إنه وصل إلى مستوى فقد العظام الذي يشاهد عادة بعد سن اليأس، وكانت إحدى النظريات هي: أن الاكتئاب يساعد على إطلاق الكورتيزول، الذي يسرّع بدوره فقد العظام.

ويعتقد آخرون أنه قد يكون هناك ارتباط بثلاثة اتجاهات، بين جهازنا المناعي وجهاز غددنا الصم وجهازنا العصبي، والتي يتصل بعضها مع بعض بواسطة الببتيدات، التي تنتقل خلال الدم ، مما يعطي تغذية مرتدة للأجهزة الثلاثة، مستخدمة الدم كجهاز اتصالات.

وقد تؤثر هذه الاكتشافات الجديدة ـ التي تحقق معظمها خلال السنوات الخمس الماضية ـ في ممارسة الطب في القرن الحادي والعشرين، فقد يلقي الأطباء في المستقبل نظرة أعمق إلى طرق معيشتنا

وحالاتنا الانفعالية، لتحليل ما إذا كان لدينا شبكات دعم اجتماعية، أو إن كنا نمارس التمارين والاسترخاء المنتظم (مثل اليوجا والتأمل وقضاء العطلات)، أو إن كانت لدينا طرق لتصريف غضبنا وإجهادنا. وسوف يجبر الطب الجزيئي الأطباء على النظر إلى الجسم على أنه شبكة معقدة من الأنظمة المتفاعلة.

أجهزة التصوير في القرن الحادي والعشرين

تساعد تطورات جديدة في فيزياء الكم الطب الجزيئي، فاتحة الطريق لجيل جديد من أجهزة وآلات التصوير، بما في ذلك أجهزة الفحص بالرنين المغناطيسي، وبنظير البوزيترون أو الأشعة المقطعية والفحص بالكمبيوتر. لقد فتحت هذه الأجهزة فعلا مجالات جديدة تماما في الطب، متيحة لنا ـ للمرة الأولى ـ أن ننظر إلى دماغ حي وهو يفكر، وإلى داخل الجسم وهو يعمل. وفي القرن الحادي والعشرين سيعطينا جيل جديد من أجهزة التصوير هذه، قدرة لا سابق لها على رؤية تفاصيل دقيقة للجسم الحي غابت عن العلماء حتى الآن، مثل الشرايين المسدودة، والأورام الدقيقة للغاية... إلخ.

ويعمل كل من هذه الأجهزة حسب مبدأ من مبادئ فيزياء الكم. فنظام الفحص بالأشعة CAT Scan يستخدم صورا متعددة لأشعة إكس، لخلق مقطع من الجسم الحي، وتطلق هذه الأشعة خلال الجسم من زوايا مختلفة. تستخدم أجهزة الكمبيوتر بعد ذلك لإعادة تركيب هذه الصور المتعددة لإعطاء صورة مقطعية للجسم، أما ماسحات البوزيترون PET Scan فتستخدم الجلوكوز المشع لاكتشاف النشاط العصبي ضمن الدماغ. وبما أن نشاط الدماغ يزيد من استهلاك الجلوكوز الذي هو مصدر طاقته، يمكن للعلماء أن يقدروا نشاط الدماغ بقياس تراكيز الجلوكوز المشع، الذي يصدر مضاد الإلكترون (أو البوزيترون)، والذي يمكن اكتشافه بسهولة. كما تستفيد آلات الفحص بالرنين المغناطيسي MRI Machines من ميزة دوران نواة الذرة كبروز. وعندما توضع ضمن حقل مغناطيسي قوي، تتوجه هذه النوى الدوارة جميعها حسب المجال. وبتطبيق إشارة خارجية ذات

تردد مرتفع يستطيع المرء فعلا أن يقلب هذه النوي رأسا على عقب. وعندما تعود النُويّ إلى أشكالها الأصلية، فإنها تصدر دفقة صغيرة من الطاقة، يمكن بعد ذلك اكتشافها. وبما أن النوي المختلفة تصدر إشارات مختلفة، يستطيع المرء التمييز بين الذرات المختلفة الموجودة في الجسم.

إن دقة الوضوح لهذه الأجهزة ليست كبيرة حاليا، فمن الصعب تركيز أشعة إكس الضبابية، كما أن الوضوح في أجهزة الفحص بالبوزيترون غير عالي الجودة، ومع ذلك فإن أنواعا جديدة من التصوير بالرنين المغناطيسي، هو الرنين المغناطيسي الفائق السرعة Echoplanar Imaging، سيقدم في القرن الحادي والعشرين تصويرا أسرع بألف مرة من المتاح حاليا، وستتمكن الأجهزة عالية الوضوح هذه من أخذ صور بمعدل ٣٠ إطارا في الثانية ، هو المعدل الذي تظهر فيه الصور التلفزيونية على الشاشة، وميزة هذه السرعة هي أنها تمكن الأطباء من تثبيت صور الجسم غير الواضحة بسبب سوائل الجسم أو حركته. مثلا الفحص بالرنين المغناطيسي الحالي لا يستطيع أخذ صور دقيقة للترسبات الدهنية في القلب؛ لأن الترسبات صغيرة؛ ولأن القلب في حالة حركة مستمرة ومملوء بالسائل. إن هذا الجيل الجديد من أجهزة الرنين المغناطيسي الفائقة السرعة سيجعل من الممكن في النهاية أخذ صور سريعة وثابتة للقلب وهو يعمل، مما يمكن الأطباء من التحديق داخل الشرايين والعروق المختلفة، لتحديد درجة الانسداد. ويمكن لهذا بدوره أن يساعد على التحكم في الخطر الصحي الأكبر في العالم الغربي، وهو مرض القلب.

إن صور أشعة إكس غائمة، لأنه من الصعب تركيز حزمة أشعة إكس والتحكم فيها، ولكن العلماء تمكنوا عام ١٩٩٦ من تركيز حزمة من أشعة إكس بإطلاقها خلال جسم من الألمنيوم، وتنتقل أشعة إكس خلال الألمنيوم، ولكنها تنحني بشكل طفيف خلال انتقالها، ويمكن استغلال هذا الانحراف الطفيف بإحداث صفوف من ثقوب دقيقة في جسم الألمنيوم، ينحني كل منها مسار الشعاع الأصلي قليلا، بحيث يُركِّز كامل الشعاع على رقيقة صغيرة جدا ذات قطر بعدة أجزاء من المليون من البوصة. إن هذه الطريقة

ليست أرخص أو أكثر دقة من التكنولوجيات السابقة فحسب، ولكن أيضا يمكن أن تكون لها تطبيقات واسعة في النقش على الشرائح السيليكونية، وفي تحسين أجهزة التصوير التي تستخدم أشعة إكس.

وتستخدم أجهزة التصوير هذه حاليا بشكل رئيسي عندما تحدث مشكلة، لتفحص العطل الحادث وقياس حجمه أو مقداره. أما في المستقبل فستمكّن نظرية الكم جيلا جديدا من آلات التصوير من اكتشاف مشاكل محتملة قبل سنوات، أو عقود، من أن تصبح مشاكل فعلا. ولكن، ربما كانت أكثر مناحي الطب الجزيئي إثارة في المستقبل، هي إثبات أن الشيخوخة ذاتها قد تكون مرضا قابلا للعلاج.



10 العيش إلى الأبد

لقد ألهب البحث عن الشباب الدائم خيال الملوك والأباطرة والناس العاديين المسنين لآلاف السنين. ومنذ القدم أرسل الحكام، في بحثهم الدؤوب عن الحياة الأبدية، فرقا من المستكشفين للبحث عن نبع الشباب الأسطوري، مما غير مصادفة من منحى التاريخ في مناسبات عدة.

ولا يزال هذا البحث يلازمنا إلى اليوم، ويبدو أن الجيل الذي ولد في الخمسينيات من القرن العشرين بتركيزه على البقاء شابا بشكل خاص، مصمم على مقاومة الخضوع لأبيه الزمن، وقد أنفق هذا الجيل ٤٠ بليون دولار على «موضات» التمارين والوجبات الغذائية الحالية. إن أي شخص يحدق مرة في مرآة، ويرى انتشار التجاعيد الرخوة والملامح المتهدلة والشعر الرمادي، يحنّ في لحظة من اللحظات إلى الشباب الدائم، فالشيخوخة ليست ممتعة. إنها تشتمل على ضياع كبير في كتلة العضلات، وزيادة في شحم الجسم (وخاصة عند الخصر

«لا أريد أن أعيش للأبد من خلال أعمالي، أريد أن أعيش للأبد بألا أموت».

وودي آلان

للرجال والمؤخرة بالنسبة للنساء)، وضعف في العظام، وانحطاط في جهاز المناعة وضياع في الحيوية. ومهما كنت غنيا أو قويا أو لامعا أو صاحب نفوذ، فإن مواجهتك للشيخوخة هي مواجهة لحقيقة فنائك، أو كما قال بوتش كاسيدي لغلام الساندانس «إنك تكبر في كل يوم إن هذا قانون». ولسوء الحظ فقد أحيطت الشيخوخة والشباب الدائم دوما بالغموض، إن لم يكن بالدجل والاحتيال الواضح.

ومع ذلك فمن المفروض بحق أن يعيش الجسم للأبد. ومن المدهش أن بعض الحيوانات تعيش بالفعل حياة غير محدودة، وتتحدى بعض الخلايا وحتى بعض الحيوانات بشكل روتيني قوانين الشيخوخة، ولا تملك فترة حياة يمكن قياسها، ولذا إذا كان العيش للأبد لاينتهك أي قانون معروف من قوانين بيولوجيا الخلية، فلماذا لا نستطيع أن نبقى شبابا إلى الأبد؟

يشير عدد من الاكتشافات الباعثة للآمال إلى أن الأصل الجزيئي والجيني للشيخوخة أصبح في مرمى البصر. ولأول مرة في تاريخ البشر استبدال البيانات الصائبة والنتائج الصحيحة القابلة للتكرار بالتخمينات الفضفاضة والفولكلور القديم. إن الإثارة محسوسة بين الباحثين، ويقول ليونارد هيفليك من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو، الذي لقب أحيانا بـ «عميد علم الشيخوخة» يقول: «إن علم الشيخوخة يمر الآن في حالة تتهاوى فيها النظريات بعضها تفوق بعض. وعلى الرغم من أنه لا توجد في هذا الاندماج معلومات كثيرة مهمة حتى الآن، فإننا نحرز تقدما جيدا نحو نظرية موحدة في الشيخوخة مماثلة للنظرية الموحدة الكبرى لدى علماء الفيزياء».

وقد أجرى بعض علماء الشيخوخة تنبؤات حذرة، ولكنها معقولة حول المستقبل. وربما كان الرهان من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ في تأخير بعض أمراض وأعراض الشيخوخة، وربما وقفها عن طريق المعالجات الهرمونية المراقبة بعناية. وهناك عدة عقبات تقف في طريق هذه التكنولوجيا غير المستقرة، وإن كانت مبشرة. وإذا أمكن احتواء تأثيراتها الجانبية، فإن مزيجا من المعالجات الهرمونية ومضادات الأكسدة، قد يعكس بعض الآثار السيئة للشيخوخة (على الرغم من أنها قد لا تطيل من عمر الإنسان).

ومع ذلك فبعد عام ٢٠٢٠ عندما يكون لدينا سلاسل الـ «د.ن.أ» الشخصية، سينفتح مدخل جديد تماما، أي تحديد «جينات العمر» الأسطورية إن كانت موجودة حقا. وبالتأكيد لا يعتقد كل العلماء بوجود أشياء مثل جينات العمر. وحتى لو وجدت فإن مهمة البحث خلال آلاف الجينات لتحديد جينات العمر ستكون عملية صعبة، ولكن بعض علماء الشيخوخة البيولوجية يدّعون أنهم اكتشفوا بعض جينات العمر في الحيوانات، وأنه قد يكون لهذه مثيلات لدى البشر. وسيكون لأحد المداخل المبشرة دراسة سلاسل الـ «د.ن.أ» الشخصية للناس الذين يعيشون حياة طويلة وصحية بشكل استثنائي، والبحث عن الروابط التي تجمع بينها على الكمبيوتر لمعرفة إذا كان هؤلاء يشتركون في عوامل جينية رئيسية معينة. ومن عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ سيُفتح اتجاه واعد آخر: توليد أعضاء جديدة، فليس من المفيد الحصول على فترة حياة أطول إذا قُيدنا بأجساد تتدهور بفعل الشيخوخة. ومنذ فترة أصبح من الممكن توليد الجلد والأنسجة الأخرى في المختبر، وتوجد خطط توليد أعضاء كاملة: بما في ذلك الكلى والقلوب وربما الأيدي. وقد يصبح توليد أعضاء جديدة في النهاية أمرا شائعا، مثل عمليات نقل القلب والكلى اليوم.

البحث عن ينبوع الشباب

لكل مجتمع تقريبا قصصه الأسطورية حول الخلود، ويمتلك الهندوس والرومان والصينيون أساطيرهم حول نبع الشباب، والتي غيرت بمناسبات عديدة منحى التاريخ الحديث. وتقدم الأسطورة اليونانية أسوأ تحذير لأولئك الذين يودّون تجاوز النظام الطبيعي: فلقد وقعت إيوس إلهة الفجر الجميلة في غرام شخص فانٍ يدعى تيثونس وتزوجت به، ولكن بينما ظلت الإلهة شابة دوما بدأ تيثونس يشيخ، ولذا توسلت إيوس إلى كبير الآلة زيوس ليجعل حبيبها خالدا كالآلهة، ولقد نفذ لها زيوس رغبتها، لكن إيوس ارتكبت خطأ مميتا: لقد نسيت أن تطلب الشباب الخالد لتيثونس، وفي النهاية أصبح تيثونس مقعدا مهتزا يتحدث إلى نفسه بلا انقطاع. وقد أثار هذا غضب الآلهة عليه فحولوه إلى جندب.

وتمثل حكاية تيثونس تحديا واضحا للعلم الحديث، فليس من الواجب على العلم والطب أن يطيلا فترة حياتنا فقط، وإنما يجب عليهما أيضا أن يجدّدا نشاط وحيوية أجسادنا، بحيث لا نصبح أمة من مرضى يسكنون دور العجزة.

الحيوانات التي «لا تموت»:

اضطر العلماء قبل الثورة البيوجزيئية للتخمين، للتعرف على شيخوخة الإنسان عبر دلائل غير مباشرة. وربما أتى أبسط الأدلة على تقدم السن من مملكة الحيوان وبيولوجية التطور. إن كل الثدييات تصل إلى حجم ثابت للجسم عندما تتقدم في السن، ومع ذلك فإن بعض الحيوانات بحجم غير ثابت لجسمها (مثل بعض أنواع الكركند أو جراد البحر والأسماك المفلطحة والحفش وسمك القرش والتماسيح الأمريكية يزداد حجم جسمها ببساطة مع الزمن، ولكنها لا تظهر عليها أي علامات واضحة تدل على تقدمها في السن. إن هذه الحيوانات «غير فانية» بمعنى أن عملية تقدمها في السن بطيئة جدا، بحيث إن هذه العملية إما غير موجودة، وإما أنها بطيئة جدا لا يمكن قياسها بشكل مؤكد في المختبر، ويذكر عدد من المراجع بشكل غير صحيح أن لهذه الحيوانات فترة حياة محددة مثل الحيوانات الأخرى.

وتخلط هذه الكتابات بين «متوسط العمر» و«العمر الافتراضي»، فمتوسط العمر Life expectancy يشير إلى العمر المتوسط الذي يعيشه كائن ما حتى يموت من المرض أو من الحيوانات المفترسة أو الجوع، بينما يشير مصطلح العمر الافتراضي Life span إلى أقصى مدة زمنية يمكن لكائن أن يحياها، إذا ما أبعدت هذه المصادر الخارجية للموت، وهذا هو السبب في أننا لا نشاهد تماسيح بعمر ٥٠٠ سنة، وبحجم البيوت تزحف على سطح الأرض، وذلك لأنها خضعت لمخاطر العيش في البرية.

ومع ذلك، عندما تحفظ هذه الحيوانات في حديقة الحيوانات، فإنها تصان إلى حد كبير من هذه العوامل الخارجية، وبالتالي فإنها تنمو ببساطة بشكل لا منتهٍ، ومن دون أي نقص في وظائفها الفيزيائية تقريبا بعد بلوغها النضج الجنسي.

والمثال الكلاسيكي على ذلك هو الأسماك المفلطحة. فالذكر يصل إلى حجم ثابت ويشيخ بشكل طبيعي، بينما تنمو الأنثى بشكل مستمر ولا تظهر أي دلائل على شيخوختها أو فقدها لوظائفها مع الزمن. ويبدو أن وجود حيوانات من دون فترة حياة محددة يشير إلى وجود «جينات السن». ومن الواضح أن خلايا هذه الحيوانات لا تفقد حيويتها وقدرتها على التكاثر.

ومع ذلك، فإن للشيخوخة ـ من وجهة نظر تطورية بحتة ـ هدفا معينا. فليست هناك أي فائدة للطبيعة في حيوان يشيخ بعد سن الإنجاب. إذ إن مثل هذا الحيوان يمثل استنزافا بالنسبة لبقية القطيع أو المجموعة. وربما خططت الطبيعة للكائنات أن تشيخ وتموت، بحيث تترك الموارد القليلة للجيل التالي، كي يعمل على استمرار النوع وبقائه.

إن نقل التعميم من الحيوانات الدنيا إلى البشر خطر دوما، ولكن يبدو أن الشيخوخة في البشر تتبع أيضا طريقا تطوريا. إن علماء الحفريات القديمة الذين حللوا بقايا أسلافنا مقتنعون الآن بأن سلالتنا انفصلت عن الحيوانات الرئيسية الأخرى منذ حوالى ٥ ملايين سنة. وخلال هذه الفترة ازداد مدى عمرنا بأكثر من الضعف بالمقارنة مع أبناء عمومتنا من الرئيسيات. وحسب المصطلحات التطورية فقد تضاعف حجم دماغنا و وزن أجسادنا ومدى عمرنا، بطرفة عين تقريبا. وهذا شيء غير عادي بالنسبة لأي نوع من الأنواع في المملكة الحيوانية.

إن قصر الفترة الزمنية النسبي لهذا التوسع الملحوظ يشير إلى أن حفنة من جينات السن تتحكم في مدى عمرنا، ولكنه ليس برهانا على ذلك. وبما أننا نشترك بـ ٩٨,٤ في المائة من جيناتنا مع الشمبانزي، فقد يمكننا التركيز المنظم على الجينات التي تفصلنا عن أبناء عمومتنا من الحيوانات الرئيسية، من تحديد جينات السن بين هذه الجينات.

كم كان عمر جولييت؟

تشهق أجيال من طلاب المدارس الثانوية من الدهشة وهم يقرأون روميو وجوليت لشكسبير عندما يكتشفون أن عمر جولييت كان ثلاثة عشر عاما فقط. وننسى في أحيان كثيرة أن حياتنا كانت في معظم فترات الوجود

البشري قصيرة وبائسة ومتوحشة. وللأسف فإننا نكرر الدورة البائسة ذاتها في معظم مراحل التاريخ الإنساني؛ فحالما نصل إلى سن البلوغ يتوقع منا أن نعمل بجد، وأن نصطاد مع الأكبر سنا، ثم أن نجد شريكة حياتنا وننجب أطفالا، وبعدها سيكون لدينا عدد كبير منهم، حيث يموت معظمهم في أثناء الولادة. وكما يقول ليونارد هيفليك: «من المدهش أن نعرف أن الأنواع البشرية بقيت لمئات الآلاف من السنين، وهذا أكثر من ٩٩ في المائة من عمرها على الأرض بمتوسط عمر يبلغ ١٨ عاما فقط».

ومنذ الثورة الصناعية وبفضل التوسع في الصرف الصحي والإمدادات الأفضل للغذاء وآلات توفير الجهد ونظرية الجراثيم والطب الحديث فقد ازداد متوسط أعمارنا بشكل كبير: فعند بداية القرن الحالي كان متوسط العمر في الولايات المتحدة ٤٩ سنة، وهو الآن حوالى ٧٦ سنة، أي بزيادة ٥٥ في المائة في قرن واحد. وكما يلاحظ جوشوا ليدربرج «يمكن رد ارتفاع متوسط العمر الأكبر في الولايات المتحدة بالكامل تقريبا إلى التحكم في العدوى والقضاء على الحشرات». واليوم فإن الجزء الأسرع زيادة من سكاننا هم من فوق سن الـ ١٠٠ عام (لقد لوحظت أخيرا ظاهرة غريبة جديدة، وهي «الكبار الأقوياء» التي قد تخفف قليلا عبء كبارالسن على المجتمع).

فيزياء التقدم في السن

إن الجزء المحوري في «نظرية موحدة للشيخوخة» هو الفيزياء ونظرية المعلومات والجينات: فهناك أولا القانون الثاني من الثرمو ديناميك، والذي ينص على أن العشوائية (أو الإنتروبي) Entropy يجب أن تزداد في أي نظام مغلق، وباختصار فإن الأشياء تتردى. وحسب تعبير جورج هاريسون «على كل الأشياء أن تمضي : أجسادنا وآلاتنا ومنتجاتنا. وحتى الكون يجب أن يفنى في النهاية.

إن تطبيق ذلك على الكون يعني أن النجوم ستستهلك في النهاية وقودها النووي، مخفضة درجات الحرارة إلى حوالى الصفر المطلق، وخالقة كونا بائسا يتألف من نجوم ميتة وثقوب سوداء وغاز بارد لا شكل له. إن مصير الكون هو الوصول إلى حالة من الفوضى العظمى.

ويتجلى هذا الازدياد في الإنتروبي في أجسامنا بفقدان المعلومات: ففي كل مرة تتكاثر فيها خلايانا أو تقذف بكيماويات سامة تتراكم أخطاء صغيرة في معلومات الـ «د.ن.أ» لدينا، حتى لا تتمكن خلايانا من إصلاح نفسها والعمل بشكل طبيعي. وفي النهاية فإن القانون الثاني في الثرموديناميك ينطبق على خلايانا، وتصبح الشيخوخة عملية لا راد لها. وبزيادة الإنتروبي لا تملك خلايانا مقاومتها ونشاطها وحيويتها الأصلية بسبب تراكم فقدان في المعلومات. ويدعو هيفلك هذا بـ «الضرر الجزيئي»، أي فكرة أن الشيخوخة تنتج عن تراكم تدريجي للأخطاء في شفرتنا الجزيئية؛ مما يقلل ببطء من كفاءة وقوة خلاينا. وقد تحدث الشيخوخة بفقد قدرتنا على إصلاح هذا الضرر الجزيئي.

إذا كان القانون الثاني قانونا ثابتا في الفيزياء، فيبدو من الوهلة الأولى أن محاولة عكس عملية التقدم في السن مهمة ميئوس منها، ولكن هناك ثغرة في القانون الثاني: فهو لا يشير إلا إلى «نظام مغلق». وهذا يعني أن بالإمكان الحصول على موازنة ذلك: فنحن نستطيع إنقاص الإنتروبي في مجال معين وبالتالي (عكس عملية الشيخوخة) ما دمنا نزيدها في مجالات أخرى، بحيث إن الكمية الكلية للإنتروبي تستمر في الزيادة.

وعلى سبيل المثال، فإن إنجاب طفل يمثل هبوطا كبيرا في الإنتروبي. ولكن هذا الهبوط يعوض بالفوضى التي يخلقها الطفل في مكان آخر (في الإجهاد الذي يصيب جسم أمه، وفي زيادة استهلاك الغذاء، وفي الإمكانات الكبيرة اللازمة لإنجاب طفل). وبعبارات أخرى يمكن استغلال الثغرة في القانون الثاني بواسطة جينات السن، والتي يكون هدفها إصلاح العطل الجزيئي الذي تسببه الشيخوخة.

التقدم في السن: أنت تصدأ

عندما يشتكي الناس في سن متوسطة من خشونة المفاصل وآلام العضلات ويدّعون أنهم «أصبحوا صدئين»، فإنهم أقرب إلى قول الحقيقة مما يدركون. إن أحد أعظم الأفكار المثمرة حول الشيخوخة هي نظرية الأكسدة والتي تقول إن الشيخوخة تدفع بالعملية ذاتها التي تجعل الحديد

يصدأ، والفضة تفقد بريقها، والنيران تتوهج. والأكسدة عملية متصاعدة وآكالة تنجم عن إطلاق القوة الكيميائية المحبوسة ضمن الأكسجين الذي نتنفسه من الجو. إن الأكسدة هي إحدى الطرق المهمة التي يتجسد فيها القانون الثاني في أجسامنا.

ومن ناحية أخرى، فإن الأكسدة هي مصدر الطاقة التي تتزود بها أجسامنا. فعندما نأخذ نفسا عميقا يترشح الأكسجين الذي يملأ رئاتنا داخل خلايانا، والتي تستخدم المركب الكيميائي أدينوسين تريفوسفات ATP لإصدار الطاقة اللازمة لثني عضلاتنا وتحريك أجسادنا. ومع ذلك فإن هناك جانبا مظلما لهذه العملية؛ فعملية الأكسدة بحد ذاتها - من دون تحكم - تسبب اضطرابا في نظامنا، مخلفة جذيرا حرا Free radical داخل أجسامنا، يشبه مفتاحا يُرمى داخل آلة متناغمة بحيث يعطل وظائف الخلية. ويمكن لهذا الشق الطليق المتقلب بسبب طبيعته الكهربائية أن يشطر البروتينات والأحماض النووية، معطلا آلية الخلية المتوازنة بكل دقة.

ولقد كان جيرشمان أول - من ربط عام ١٩٥٤- بين الشيخوخة والعطل الناجم عن الأكسدة، وطور دينهام هارمان من جامعة نبراسكا Nebraska هذا الطرح فيما بعد. لقد اعتقدا أنه إذا كانت الشيخوخة ناجمة عن الأكسدة الناتجة عن وجود جذير حر أو طليق فيمكن إبطاؤها بالتأثير المعدل لمضادات الأكسدة. وتتضمن أهم مضادات الأكسدة الفيتامينات A, C, E إضافة إلى بيتا - كاروتين، وفوق أكسيد ديسموتيز، والكاتاليز، وفوق أكسيد الجلوتاثيون. وتوجد مضادات الأكسدة بشكل شائع داخل أجسامنا كما توجد أيضا في غذائنا. (تضاف مضادات الأكسدة غالبا للحبوب والأصناف المخبوزة، وتستخدم لإبطاء عملية الأكسدة والتي تجعل الغذاء كريه المذاق).

لقد بيّنت بعض التجارب أن فترة حياة بعض الحيوانات مثل (الفأر وذباب الفاكهة والفئران والديدان والخلد الذي يُدعى نيورو سبورا) قد أطيلت بفعل مضادات الأكسدة. وفي الحقيقة يمكن زيادة فترة حياة الفأرة بنسبة ٣٠ في المائة، ولم تصبح هذه الحيوانات عاجزة مثل تيثونس التعيس. وقد أظهرت بعض الدراسات أن مضادات الأكسدة تؤجل ظهور السرطان وأمراض شرايين القلب وأمراض الجهاز العصبي وجهاز المناعة.

وفي تنبؤ قابل للاختبار لنظرية الأكسدة، فإنه يجب أن يكون لدى الحيوانات ذات العمر الافتراضي القصير مستويات أعلى من الشق الطليق. وقد أثبتت الدراسات المخبرية صحة هذا التوقع. وقد تزودنا نظرية الأكسدة أوالشق الطليق بدليل حاسم على تراكم العطل في أجسامنا على المستوى الجزيئي. ولكن يبقى السؤال: كيف نبطئ هذا الضرر أو حتى نمنعه؟

من الآن وحتى ٢٠٢٠: الهرمونات / أكسير الحياة

إن أعظم طريقة غير مؤلمة وثابتة طبيا لزيادة متوسط أعمارنا (ومنع البلد من الإفلاس من جراء النفقات الطبية المتزايدة) هي العيش بطريقة صحية، أي الامتناع عن التدخين وإجراء التمارين بانتظام وأكل وجبات قليلة الدهن والكوليسترول وغنية بالألياف. ولقد أظهرت دراسة بعد أخرى أن الشعب الأمريكي مهمل - إلى حد كبير - في نمط حياته، مما يسبب له طائفة من الأمراض المزمنة.

ومع ذلك فإن البحث الطبي يغير رأيه تدريجيا حول أحد أكثر الحقول بشاعة للبحث في الشيخوخة، وهو المعالجة الهرمونية. لقد حازت المعالجة الهرمونية تقليديا سمعة أنها ملاذ آمن للدجالين وللمشعوذين والدعائيين والمحتالين. وكان لحقل المعالجة الهرمونية تاريخ حافل بمواجهات عديدة فاضحة ومضحكة مع مدعي الهرمونات، الذين يدعون ادعاءات باطلة.

وفي العشرينيات ادعى واعظ أصولي لُقِّب بجون (دوك) برنكلي أن نقل خصية الماعز والحيوانات الأخرى يمكن أن يوقف الشيخوخة، وقد سمع آلاف من الناس المسنين هذه الادعاءات عبر محطة الراديو التي أسسها، ويمموا صوب عيادته في كنساس. وقد أصبح غنيا وواسع النفوذ إلى حد أنه رشح نفسه لمنصب حاكم ولاية كنساس (ولكنه خسر).

ومع ذلك، فإن المعالجة الهرمونية سرعان ما خرجت عن صورتها التقليدية، أي على أنها معالجة بدهن الثعبان، لتدخل مجالات العلم الدقيق بسلسلة من الدراسات الجديدة، وفي الحقيقة وبمبلغ مليوني دولار من المعهدالوطني للشيخوخة التابع لمعاهد الصحة الوطنية الأمريكية، هناك

تسع فرق بحث تجري حاليا دراسات (على عوامل مؤثرة في الغدد)، مثل الهرمونات التي تشجع النمو وتحافظ على الأنسجة. ومن الآن وحتى ٢٠٢٠ قد تتطور المعالجة بالهرمونات إلى طريقة مهمة للتحكم في بعض عوادي الشيخوخة والوقاية من المرض (على الرغم من أنه من المحتمل ألا تزيد أعمارنا الافتراضية).

ومن المعروف جيدا أن النساء محميات من كثير من الأمراض وأعراض الشيخوخة بسبب هرمون الإستروجين خلال سنوات إنجابهن، ومع ذلك عندما تمر المرأة بفترة سن اليأس تهبط مستويات الإستروجين وتزداد لديها هشاشة العظام ومرض القلب. وقد استنتج بيولوجيو التطور من ذلك أنه لم يقصد من النساء أن يعشن فترة طويلة بعد سن اليأس. ويعبر تشارلس هاموند من المركز الطبي لجامعة ديوك عن ذلك بصراحة بقوله «عند بداية القرن كانت النساء يمتن بعد أن ينتهي عمل مبيضهن بفترة قصيرة».

ومنذ مدة فإن الإستروجين هو الدواء الموصوف رقم واحد في الولايات المتحدة، وهو أيضا أحد أكثر الأدوية التي درست بشكل جيد. لقد وجدت دراسة صحة الممرضات الشهيرة، والتي تتبعت ١٢٠ ألف ممرضة لأكثر من عشرسنوات، أن النساء اللاتي تناولن الإستروجين بعد فترة سن اليأس انخفض معدل إصابتهن بأمراض القلب إلى النصف. وقد أظهرت دراسات أخرى أن الإستروجين في النساء المسنات يخفض إلى النصف احتمالات إصابتهن بكسور عظام الحوض، ويحسن الذاكرة لديهن ويخفّض حدوث سرطان القولون بحوالى ٥٥ في المائة ويحافظ على الكولاجين الذي يحفظ الجلد طريا وناعما.

وقد حلت الثورة البيوجزيئية أسرار عمل الهرمونات كالإستروجين، فهي تؤدي سحرها بتحريض جينات الخلايا المستهدفة لإنتاج بعض البروتينات (مثل برولاكتين) الذي يؤدي وظائف محددة في الجسم، وبعبارات أخرى تعمل الهرمونات على «تشغيل» جينات محددة ضمن الخلية.

السرطان والشيخوخة

ومع ذلك فهناك جانب مظلم للمعالجة بالإستروجين، وهو ازدياد إمكان التعرض لسرطان الثدي. لقد أظهرت دراسة أجريت على ٢٤٠ ألف امرأة

قامت بها الجمعية الأمريكية للسرطان أن لدى أولئك اللواتي يتناولن الإستروجين لـ ٦ سنوات على الأقل زيادة بمعدل ٤٠ في المائة من سرطان المبيض المميت. وبالنسبة لأولئك اللاتي أخذن الإستروجين لأحد عشر عاما أو أكثر فقد ازدادت المخاطرة بمقدار ٧٠ في المائة. وبصورة عامة هناك تبادل في المزايا والمساوئ بين إبطاء أمراض الشيخوخة بالمعالجات الهرمونية وزيادة خطرالسرطان. ويأتي مصدر رد الفعل هذا مباشرة من الفيزياء وبيولوجيا الجزيئات. وتعمل الهرمونات مثل الإستروجين على تسريع قدرات الخلية في عمليات الأيض والتكاثر، وبالتالي تسرّع معدل أدائها لوظائف جينية معقدة. ولكن هذا يزيد من احتمال حدوث أخطاء في وظيفة الخلية وتكاثرها.

فكر في تشغيل محرك عند مستوى الأداء الأعلى، فكلما ازداد نشاط المحرك ازداد اهتراؤه وتمزقه أيضا. وبالمثل فإن زيادة النشاط الناتج عن المعالجة بالهرمون لابد أن تزيد من الأكسدة وإطلاق الجذيرات الحرة Free radicals والتسبب في تحولات جينية تؤدي إلى فقد المعلومات وإلى السرطان.

وبعبارة أخرى «فقد تكون الشيخوخة هي الثمن الذي ندفعه لحماية أنفسنا من السرطان».

كما يقول كريستوفالو من مركزبحوث الشيخوخة في كلية الطب ببنسلفانيا الذي يضيف «إن أي خلية في جسمك بمنزلة إصبع من الديناميت، وإذا تحول هذا الإصبع إلى متفجر فأنت هالك. ومن أجل أن يبقى النوع علينا أن نطور آليات تسمح لنا بالتحكم في انشطار الخلية لفترة كافية للتكاثر». وعلى سبيل المثال، تشيخ الفئران أسرع من البشر بثلاثين مرة، لكن معدل السرطان لديها أسرع ثلاثين ضعفا.

هناك مع ذلك بعض الطرق للحد من خطر السرطان؛ فتخفيض كمية الإستروجين، وإدخال هرمون آخر مثل البروجيستيرون قد يخفض من معدل حدوث سرطان الثدي حسب بعض الدراسات. ويعبر إسحق شيف من مستشفى ماساشوستس العام عن ذلك بصراحة «إنك توضح للنساء بشكل أساسي أن هناك إمكانا لزيادة خطر التعرض لسرطان الثدي عند سن الستين، مقابل منع حدوث نوبة قلبية عند سن السبعين، وتحطم عظم الورك عند سن الثمانين. كيف تتمكن من اتخاذ مثل هذا القرار بالنسبة لمريض؟».

وبحوالى ١٩ مليون ذكر من جيل مواليد ما بعدالحرب العالمية الثانية، الذين يبلغون الخمسين خلال العقد الأول من القرن الواحد والعشرين، سيكون هناك اهتمام متفجر مماثل بوقف شيخوخة الذكور. ومنذ فترة فإن حوالى ربع العمليات الجراحية التجميلية (بشكل رئيسي معالجة الشعر وسحب الشحم) أجريت للذكور، ومع ذلك فإن أكثر ما شد الاهتمام هو المعالجة الهرمونية من نوع من التيستوستيرون، وهو هرمون الجنس للذكر. إن توقف الذكر عن الخصوبة أكثر تعقيدا من المرأة: فبدلا من الانحدار الكبير في صحة المرأة عند سن الخمسين، فإن مستوى التيستوستيرون في الرجال ينخفض بمعدل ١ في المائة في العام بعد سن الأربعين. ومن المعروف جيدا أن التيستوستيرون يمكنه أن يزيد من حيوية ذكر مسن. ويعاني الرجال، ذوو المستويات المنخفضة من التيستوستيرون (والذي يدعى ضعف المناسل) من تدهور في عظامهم وعضلاتهم وطاقتهم وقدرتهم الجنسية. وقد أظهر جويس تينوفر من كلية الطب في جامعة إيموري أن ١٣ رجلا مسنا أُخضعوا للعلاج بالتيستوستيرون زاد حجم عضلاتهم والنشاط لديهم وفقدوا كمية أقل من مادة العظام.

ولسوء الحظ، فإن معظم ما يعرف عن التأثيرات الجانبية للمعالجة بالتيستوستيرون يأتي من مصدر غير مألوف: هواة كمال الأجسام المشهورين بحقن أنفسهم بكميات كبيرة من مواد كيماوية ولكنها دعائية.إن الآثار الجانبية لتناول كميات كبيرة من التيستو ستيرون معروفة بشكل جيد: تضخم الثديين والعقم (لقد حللت جرعات كبيرة من التيستوسترون كمصدر محتمل لمنع الحمل)، والسرطان (على شكل أورام البروستاتا). وتغلظ الدم (الذي يزيد من احتمالات النوبة القلبية).

ومن الآن حتى عام ٢٠٢٠، سيعمل العلماء على طرق للتحكم في التأثيرات الجانبية لهذه المعالجة القوية، ولحسن الحظ فإن هناك عددا من الطرق التي يمكن بواسطتها إنجاز ذلك. وربما كان من الممكن ـ على سبيل المثال ـ استخدام المعالجة الجينية للتحكم في السرطان. والطريقة الأكثر تطبيقا هي استخدام الواقع الافتراضي لنمذجة البروتينات التي تتحكم فيها هذه الهرمونات، بحيث تطلق التأثير المرغوب فقط دون التأثيرات الجانبية، ويعني هذا تصنيع بروتين على شكل «مفتاح» لا ينطبق إلا على «قفل» جزيئي واحد.

شطحات بعيدة

حذر المعهدالوطني للشيخوخة عام ١٩٩٧ من أن الهرمونات «المضادة للشيخوخة»، التي لم تثبت جدواها علميا، أصبحت شائعة الاستعمال، وأصدر نشرة استعلامية تحذر من استخدامها. أحد الأدوية التجريبية، وهو مثار خلاف، يستخدم هرمون النمو البشري HGH. وتاريخيا لم يكن هذا الهرمون متاحا إلا بمقادير ضيئلة يتم الحصول عليها من الغدد النخامية للموتى، ومع ذلك استخدم البيولوجيون البكتيريا منذ عام ١٩٨٥ لإنتاج عدد كبير من المواد الكيماوية البشرية صناعيا، بما في ذلك الأنسولين وهرمون النمو البشري. وقد حقن دانيل رودمان ـ أستاذ الطب في كليةالطب في ويسكنسن ـ ميلووكي، عام ١٩٩٠، ١٢ رجلا صحاح الأجسام ـ ولكنهم من المسنين ـ لمدة ٦ أشهر بجرعات من هذا الهرمون، وادعى أنه لاحظ تغيرات فورية تقريبا مستبدلا حياة تنحدر ببطء بأخرى شابة وحيوية. لقد كان أحد متلقي تجارب رودمان عامل سيارات متقاعدا هو فريد ماكيلو، وعلى الرغم من بلوغه سن الخامسة والستين عند فترة الدراسة إلا أنه قال: «لقد شعرت بأنني رجعت إلى شبابي: أعني أنني لم أشعر بهذه القوة طيلة حياتي!» لقد أصبح جلده المتجعد ناعما وشابا، واختفت سمنته، وأصبحت عضلاته المتهدلة أصلب، أما الأعضاء الداخلية المتقلصة فقد عادت إلى نشاطها وحجمها. لقد كانت قصته الشهيرة نموذجا للأشخاص الذين استخدموا في هذه الدراسة، لقد فجر تقرير رودمان فورا سوقا سوداء في هرمون النمو، وعلى الأخص بين الرياضيين ومحترفي كمال الأجسام، وآخرين يبحثون عن أجساد مجددة النشاط والحيوية.

ومع ذلك فإن محاولات تكرار نتائج رودمان الرائدة لم تنجح إلا جزئيا. وفي عام ١٩٦٦ قامت ماكسين باباداكيس من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو بدراسة ٥٢ رجلا، في سن ٧٠ أو أكثر، وتحققت من أن هناك ٤ في المائة زيادة في كتلة الجسم اللحمية و١٣ في المائة تناقصا في الشحم، كما كان متوقعا. ومع ذلك فإن قوة التحمل والقدرة العقلية أكثر أهمية من كتلة العضلات. وفي هذا الصدد لم يجدوا أي تحسن يذكر،

وفي الواقع فقد سجلوا سلسلة من التأثيرات الجانبية غير السارة بما في ذلك تضخم كاحل الأرجل، وألم المفاصل وتيبس اليدين. وتقول بابا داكيس في ذلك «إن هرمون النمو، ليس ينبوع الشباب»، وتستنتج مجموعتها «لايمكننا أن نوصي به». إن الهرمون المفضل الأخر هو DHEA (ديهايدرو بياندرو ستيرون) وهي ستيرويد يفرز من الغدة الكظرية ويزداد مستواه خلال سن البلوغ، ثم ينخفض بعد سن الـ ٢٥ إلى ٣٠ عاما. وعلى الرغم من أنه اكتُشف منذ عام ١٩٣٤، إلا أن دوره كدواء مضاد للسرطان ومضاد للشيخوخة في الحيوانات لم يدرك إلا أخيرا. وعندما يعطى للفئران فإن DHEA يقلل من معدل سرطان الثدي لديها، ويطيل من فترة حياتها ويزيد من حيويتها. ويشير المتشككون إلى أن الفأر يأكل أقل عندما يُعطى هذا الهرمون. ولذا فربما كان سبب انخفاض معدلات السرطان وزيادة فترة الحياة هو نقص القيمة الحرارية، بدلا من الهرمون نفسه. وستوضح البحوث اللاحقة هذا الموضوع.

لقد فحص عالم الجراثيم آرثر شفارتز هذا الهرمون لأكثر من ١٥ عاما ويرى إمكانه كدواء ضد سرطان القولون ويقول: «إن الدليل ضد السرطان في الحيوانات لا يقبل الجدل، وإذا حدث الشيء ذاته بالنسبة إلى الإنسان فسنكون عندها قد امتلكنا شيئا مهما». وفي عام ١٩٥٥ عالجت دراسة أجريت في جامعة كاليفورنيا في سان دييجو ١٦ رجلا مسنا بـ DHEA، و وجدت زيادة بمعدل ٧٥ في المائة في صحتهم العامة ووضعهم الصحي. وبرفع معدل DHEA إلى مستواه لدى رجل في سن الثلاثين استطاع العلماء التقليل من ألم المفاصل، وتحسين نوعية النوم، وتطوير الحركة، وزيادة كتلة العضلات في الرجال وليس في النساء. وبما أن الـ DHEA يرفع مستوى هرمونات الجنس في الجسم، فإن النظرية الرائدة هي أنه يقوم بسحره عبر تحريض إنتاج هذه الهرمونات (وإذا كان هذا صحيحا فإن الـ DHEA قد يسبب في نهاية الأمر التأثيرات الجانبية الخطيرة ذاتها التي تسببها المعالجة بالهرمونات).

إن أحد الهرمونات الذي يبدو مبشرا بدرجة أقل هو الميلاتونين Melatonin وهو هرمون طبيعي يفرز من الغدة الصنوبرية والذي يساعد على ما يبدو في التحكم بتواقيت دورة نومنا. ولقد ركز معظم الدراسات

السريرية على تأثير الميلاتونين في اضطراب السفر في رحلات طويلة بالطائرات، والأرق ونواحي النوم الأخرى. ولكن بما أن مستويات الميلاتونين تهبط في متوسط العمر، فقد ادعى بعضهم بشكل متسرع (في عدد من الكتب الأكثر مبيعا) أن الميلاتونين يخفض فعلا تأثيرات الشيخوخة.

وربما كان الأمر ليس بالبساطة التي تبدو لأول وهلة، ففي مؤتمر عقد عام ١٩٦٦ من قبل المعاهد الوطنية للصحة انتقد الأطباء تهافت الناس دون مسوغ على تناول هذا الهرمون (وهو الوحيد المتاح من دون وصفة طبية أو موافقة من منظمة الأغذية والأدوية). وقد انتقد ريتشارد ورتمان من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا الذي أطلق دراسته عام ١٩٩٤ على الميلاتونين وتأثيره في النوم هذه الموضة، عدم التبصر في استخدام هذا الهرمون، قائلا «الكل يتهافت على محلات البيع». وحتى الآن فقد تجاوز التخمين الحقائق. لقد انتشرت موضة الميلاتونين بسبب القصص التي روجت حوله، ولأن التجارب السريرية عليه غير موجودة تقريبا . إن الجيل الذي ولد في الخمسينيات والستينيات، هو في الحقيقة بمنزلة حيوانات تجارب، تختبر عليها هذه المعالجات غير الثابتة علميا.

وربما سيكون هناك في المستقبل عدد من الادعاءات المثيرة الأخرى على أن هذا الهرمون أو ذاك هو أكسير الشباب، لأنه يتناقص في الجسم مع تقدم السن، ومع ذلك ـ كما يؤكد هيفلك ـ فإن (كل) الهرمونات تتناقص مع تقدم السن، ولذا فإن هذا لا يبرهن على أنها مصدر الشباب الدائم. وليس من الواضح فيما إذا كانت المستويات المتناقصة من الهرمونات هي (سبب) الشيخوخة أم هي (نتيجة) لها.

بعد ٢٠٢٠: كل شيء موجود في جيناتنا

سيبحث العلماء، بعد عام ٢٠٢٠، عن «جينات السن» الأمر الذي يؤخر الأثر الضار في المستوى الجزيئي للشيخوخة، وكذلك أثر القانون الثاني من الثرموديناميك، أو يؤدي إلى إصلاح مثل هذا الضرر. وبافتراض أن مثل هذه الجينات موجودة ويمكن عزلها، فربما كان من الممكن وقف عملية التقدم في السن، وإطالة العمر الافتراضي بواسطة المعالجة الجينية.

لقد قدم مايكل روز، من جامعة كاليفورنيا في إرفن، حلا معقّدا لهذه المعضلة؛ فقد استطاع عن طريق التهجين الانتقائي أن يزيد فترة حياة ذبابة الفاكهة بحوالى ٧٠ في المائة، وهو يقول «هذا ما يجعل هذا الحقل مثيرا الآن، إننا نقوم بتجربة أشياء تعمل بنجاح». ولقد كانت «ذباباته الفائقة» أكثر قوة فيزيائيا من ذبابات الفاكهة العادية. والأهم من ذلك أنه وجد أن ذباباته الطويلة العمر أنتجت كميات أكثر من سوبر أوكسايد ديسموتيز المضادة للأكسدة (SOD)، الذي يساعد على تحييد آثار الجُذير الحر الخطر للأكسيد. هل حصلت الذبابات على فترة حياة أطول لأنها استطاعت مقاومة التأثيرات المثبطة لعملية الأكسدة؟

وفي عام ١٩٩١ أذهل البيولوجي توماس جونسون من معهد علم الوراثة السلوكي في جامعة كولورادو المجتمع العلمي بإعلانه أنه استطاع ـ ولأول مرة في التاريخ ـ أن يغير فترة حياة كائن آخر جينيا. فلقد عزل ضمن الدودة الشريطية، وهي دودة صغيرة، جينا جديدا دعاه «age-1». وبالتحكم في هذا الجين استطاع أن يزيد فترة حياة الدودة الشريطية البالغة ثلاثة أسابيع، بمعدل ١١٠ في المائة، وهذا إنجاز مذهل يبدو أنه يثبت مرة وللأبد أن هناك ـ بالنسبة لبعض الكائنات على الأقل ـ جينا للسن يمكن التحكم فيه بشكل منتظم. وكما يقول جونسون «إذا وجد شيء مثل هذا الجين ١ في البشر، فقد نتمكن حقا من فعل شيء مدهش». وهدفه التالي معرفة إذا كان هناك شيء مقابل لهذا الجين في الجينوم البشري.

ولقد حصل علماء آخرون على نتائج مشجعة أيضا، فقد أظهرت سينثيا كينيون من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو أن الديدان من نوع Cacnorhabditis تعيش، بعد حدوث طفرة في الجين daf-2، أكثر من ضعف المعدل العادي، أي ٤٢ يوما مقارنة بالمعدل المعتاد: ١٨ يوما. ولقد لاحظت أن الديدان التي حدثت لها طفرة «بدت سعيدة وبصحة جيدة»، حتى عندما كانت مثيلاتها تموت من الشيخوخة. ولقد أنتج سيجفريد هيكمي من جامعة مكيل في مونتريال ديدانا مرت بطفرة عاشت ٥ أضعاف العمر الافتراضي، وهو رقم قياسي بالنسبة لأي حيوان. وقال «إن هذه الحيوانات اقتربت من أقصى فترة عمرية يمكن أن تحياها»...

وعزل أربعة جينات لم تبطئ معدل الشيخوخة فحسب، وإنما أبطأت كل شيء آخر في الدودة، بما في ذلك الأكل وانقسام الخلية والسباحة وقد دعاها «جينات الساعة» Clock genes.

وقف الشيخوخة: من الحيوانات إلى الإنسان

الاستنتاج الاستقرائي من الديدان الشريطية إلى البشر تحدٍّ صعب؛ فالديدان الشريطية تتألف من ٩٥٩ خلية جسدية فقط، ولكن كما يشير إلى ذلك توم جونسون من جامعة كولورادو «من بين ٨ آلاف جين موجود مسبقا في هذه الدودة فإن لـ ٤٠ في المائة منها مماثلات بين الحيوانات الثديية». وفي الحقيقة فإن جينات البشر والديدان متقاربة جدا إلى حد أن الجينات البشرية تستعيد الوظيفة الطبيعية لها في جينات دودة حدثت لها طفرة.

ويعتقد سيجفريد هيكمي أن جينات الساعة هذه تعمل بنجاح لأنها تبطئ معدل الأيض في الدودة، وبالتالي تقلل تلف الأنسجة. ويدعم عمل مايكل جازوينسكي من المركز الطبي في جامعة ولاية لويزيانا، على خميرة الخبز هذه الأطروحات. فلقد تعرف على عدة جينات يبدو أنها تؤثر في فترة حياة الخميرة، وكان أكثر جين تمت دراسته من جينات الخميرة يدعى LAGI (جين ١ لضمان إطالة العمر)، والذي عندما يدخل إلى خلايا الخميرة الأقدم يمد من فترة عمرها بحوالى الثلث. وأكثر من ذلك فقد وجد ما يبدو أنه المقابل لهذا الجين ضمن الجينوم البشري، ويتوقع أن هذا المقابل البشري قد يفيد في تمديد فترة حياة خلايا البشر.

لقد اكتُشف جين آخر يتحكم في الـ SOD، وهو مضاد قوي للأكسدة، تطرقنا إليه سابقا. ويتحكم جين بحوالى أربعة ملايين زوج قاعدي من المؤشر الأبعد على الصبغي ٢١، ورقمه D21S58، بإنتاج هذا الإنزيم. وفي الجسم يتحد شق سوبر أكسيد بشكل طبيعي مع فوق أكسيد الهيدروجين فينشأ عن اتحادهما جزيء الهيدروكسيل السام، والذي عرف بأنه يحطم الجينات ويتلف خلايا بكاملها. وقد تكون هناك علاقة بين نظرية الجذير الحر والنظرية الجينية؛ فالجينات تتحكم في إنتاج مضادات الأكسدة التي

تقلل تلف الـ «د ن أ» الناجم عن الأكسدة، وتأييدا لهذا استطاع جيمس فليمينك من معهد ليناس باولنج في بالوا آلتو في كاليفورنيا أن يطيل فترة الحياة لذبابات الفاكهة بإعطائها نسخة إضافية من جين الـ SOD.

ويشكل كل هذا حلقة مهمة من (نظرية موحدة للشيخوخة) تجمع بين الـ «د ن أ» و ضياع المعلومات والأكسدة والجينات.

كم نستطيع أن نعيش؟

ربما كانت أسهل طريقة لتقرير ما إذا كان طول العمر في البشر جينيا هي معرفة ما إذا كان طول العمر وراثيا. لقد أجريت أولى الدراسات المستفيضة على وراثة طول العمر عام ١٩٣٤ من قبل ريموند روث بيرل. لقد وجد العلماء أن ٨٧ في المائة من الناس في التسعينيات من العمر، والمئات لديهم على الأقل أب واحد عاش إلى بعد سن السبعين. ويتم أحد الاختبارات المقنعة لوراثة الإنسان لـ «جينات السن» عن طريق تحليل توأمين متطابقين. لقد أظهرت الدراسات أن التوائم المتطابقة يموت كل منها عادة في غضون ٣ سنوات من موت السابق له (وعلى النقيض من ذلك فقد وجد أن التوأمين الأخوين من الجنس نفسه يختلفان عن بعضهما البعض في فترة الحياة بحوالى ٦ سنوات أو أكثر). ويستنتج معظم علماء البيولوجيا أن هناك علاقة ضعيفة ولكنها قابلة للقياس بين الوراثة وطول العمر.

وبالمثل، هناك أمراض وراثية غريبة مثل الشيخوخة المبكرة، ومتلازمة فيرنر والتي يبدو أنها تسرّع أمراض الشيخوخة إلى حد كبير، محولة أطفالا أبرياء وديعين إلى أفراد عاجزين مسنين خلال عدة سنوات. لقد أظهر البحث لعزل أمراض الشيخوخة الغريبة - هذه - كميات غير عادية من إنزيم هيليكيز المهم لإصلاح الـ «د ن أ». ومرة أخرى يبدو أن التقدم في السن يتعلق مباشرة بالفشل في آلية إصلاح الـ «د ن أ».

إلى الآن، لم يقترب أحد من عزل جينات السن عند البشر، هذا إذا كانت موجودة أصلا. ولكن مايكل ويست - وهو عالم بيولوجيا جزيئية في مركز ماساشوستس الطبي التابع لجامعة تكساس في دالاس - يدعي أنه قام بخطوة أولى مبشرة لفصل «جينات الموت» Mortality genes في خلايا

الإنسان، التي تتحكم في عملية الشيخوخة في خلايا الجلد والرئتين وأوعية الدم. ولهذه الجينات تأثير قوي جدا، بحيث إنه أطلق عليها M-1 وM-2. ويتنبأ ويست «بأننا سنقوم في السنوات القليلة القادمة بتوصيف الجينات التي تضبط شيخوخة الخلايا كاملا. وبعد ذلك سنرى تطبيقا هجوميا لهذا الفهم لأمراض تتعلق بالسن مثل مرض التصلب العضدي والشريان التاجي وشيخوخة الدماغ وأمراض أخرى مثل الالتهاب العظمي وشيخوخة الجلد». ولدعم هذا الادعاء، فإنه يردد القوة شبه السحرية، والمحبوسة ضمن M-2 وM-1، فمن طريق فتح وإغلاق هذه الجينات بيَّن القدرة على فتح وإغلاق عملية الشيخوخة، موضحا ـ حتى بالنسبة إلى منتقديه علاقة السبب والنتيجة الوثيقة بين الجينات والشيخوخة في البشر.

يفتح كل من M-1 وM-2 في الخلايا المسنة عادة. ولكن ويست أوضح أن باستطاعته عن طريق إغلاق الجين M-1 كيميائيا استعادة الشباب، مضاعفا عدد المرات التي تنقسم فيها. وبإغلاق الجين M-2 كيميائيا يستطيع أن ينتج تأثيرا أكبر، فهذه الخلايا المعدلة تنقسم بشكل مستمر. ثم بفتح هذه الجينات يستطيع أن يجعل الخلايا تبدأ بالشيخوخة مرة أخرى. ويدعي «أنه عن طريق فتح هذه الجينات وإغلاقها نستطيع أن نجعل الخلايا أصغر أو أكبر سنا حسب إرادتنا». إن أحد الجينات الذي وُثِقَ تأثيره في عملية الشيخوخة هو جين apo E، والذي يرمز إلى البروتين أبوليبو. ويأتي هذا الجين بأشكال ثلاثة مختلفة. ,E4, E3, E2 وهو مرتبط بشكل وثيق بمرض العته AL Zheimer's.

ويواجه الأشخاص بنسختين من E2 ثمانية أمثال المخاطرة العادية في الإصابة بالعته، ويصاب الأشخاص بنسختين من E3 بمرض العته في سن الخامسة والسبعين.

ولكن المهم بالنسبة للشيخوخة هو أن هناك ـ على ما يبدو ـ علاقة بين جين E4 وفترة الحياة التي سنعيشها. وقد أظهرت دراسات أجريت على أناس حتى سن ١٠٣ أنه كلما قل وجود جين الـ E4، طالت فترة حياتهم. وبالنسبة لأناس تحت سن الخامسة والستين، فإن وجود E4 كان بحدود ٢٥ في المائة. ولكن هذا الرقم انخفض بالنسبة لمجموعة العمر من ٩٠ إلى ١٠٣ إلى ١٤ في

المائة. ويقوم أحد الاحتمالات على أن امتلاكك لجين E4 يخفض عمرك المتوقع بزيادة فرص إصابتك بالعته.

بحوث الشيخوخة من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠

كيف سيتطور كل هذا التقدم في المستقبل؟ إن الأدلة المتراكمة لمصلحة جينات السن التي تؤثر في عملية الشيخوخة ليست حاسمة بأي حال، ولكنها مؤثرة جدا، لأنها تأتي من عدد مختلف من البحوث المستقلة، من الشيخوخة في الديدان وذباب الفاكهة إلى مضادات الأكسدة وآليات إصلاح الجينات والتحولات الجينية البشرية. ومع ذلك لاتزال العلاقة بينهما علاقة عرضية.

ويعتقد كريستوفر ويلز أستاذ البيولوجيا في جامعة كاليفورنيا في سان دييجو أن العلم قد يتمكن بحلول عام ٢٠٢٥ من أن يعزل جينات السن لدى الثدييات في الفئران. فنحن نشترك بـ ٧٥ في المائة من جيناتنا مع الفئران التي لها تقريبا كيمياء الجسم ذاتها. وهذا سبب قوي للاعتقاد بأن جين السن في الفئران يمكن أن يعمل داخل البشر أيضا. وإذا تم تحديد مثل هذه الجينات، فإن الخطوة التالية هي إيجاد ما يقابل جينات السن هذه لدى البشر. ويعتقد ويلز أنها إذا وجدت لدى البشر، فإنها قد تمد فترة حياة الإنسان إلى ١٥٠ عاما.

ولكن بحلول عام ٢٠٢٠ عندما تصبح سلسلةالـ «د.ن.أ» الشخصية شائعة، قد يثبت تكتيك ثانٍ فائدته أيضا. فعن طريق تحليل مجموعة من الأشخاص الأصحاء في التسعين من عمرهم أو أكبر، من المحتمل استخدام أجهزة الكمبيوتر لمقارنة أصول جيناتهم والتأكد من وجود تشابهات في الجينات الرئيسية التي يشك في تأثيرها في الشيخوخة. وقد تضيق مجموعة من الدراسات على «د.ن.أ» الحيوانات المعمرة، وسلاسل الـ «د.ن.أ» الشخصية على الأشخاص المسنين أيضا مجال البحث عن جين السن إلى حد بعيد.

أنت لست ما تأكل: نظرية السعرات الحرارية

لم يستطع أي من هذه الطرق إلى الآن البرهان على أننا نستطيع زيادة العمر الافتراضي للإنسان. وربما كانت النظرية الوحيدة التي لها سجل مؤكد

في إطالة العمر الافتراضي للحيوانات هي نظرية الحد من السعرات الحرارية، التي تنص على أن الحيوانات التي تستهلك سعرات أكثر بقليل من مستوى الجوع، تعيش مدة أطول بكثير من المتوسط. وعلى الرغم من أن هذه النظرية غير العادية تجري بعكس الأفكار الشائعة (لأن حيوانا مغذى بشكل جيد لا بد أنه صحيح الجسم، وجيد التغذية، و يجب أن تكون لديه مقاومة أكبر للمرض والشيخوخة) إلا أن عدة اختبارات أجريت على نطاق واسع من الحيوانات أثبتت صحتها. وقد زاد العلماء بشكل مستمر فترة حياة الفئران والجرذان في المختبر من ٥٠ إلى ١٠٠ في المائة. وهي النظرية (الوحيدة) المختبرة معمليا لإطالة العمر للحيوانات، والتي ظلت صحيحة بعد عقود من التفحص والاختبار الدقيق. لماذا؟

في مملكة الحيوان تتعلق فترة حياة الحيوانات بشكل عكسي تقريبا مع معدل الأيض. فكلما تباطأ معدل الأيض زادت فترة الحياة. وعندما يخفض معدل الأيض بشكل مصطنع بالحد من السعرات، فإن فترة الحياة تطول أيضا. إن نظرية السعرات هي عكس الحكمة الشعبية التقليدية التي تقول «عش سريعا ومت شابا»، إذ يبدو أنها تقول «عش بطيئا تعش فترة أطول».

لقد تمت ملاحظة هذا التأثير لأول مرة في بداية القرن العشرين تقريبا، وأثبت عام ١٩٩٤ بواسطة كليف ماكاي الباحث في جامعة كورنويل. ودُرس بشكل أكبر من قبل عالم الأمراض روي والفورد من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس (الذي يعتقد أنه قد يعيش حتى ١٤٠ عاما على نظام غذائي قريب من المجاعة). وتُجرى أكثر الاختبارات دقة اليوم على هذه النظرية بواسطة المركز الوطني لبحوث المواد السامة التابع لوكالة الاغذية والأدوية في جيفرسون أركانساس.

وفي عام ١٩٩٦ أنقصت دراسة أجريت في معاهد الصحة الوطنية القيمة الحرارية المأخوذة من ٢٠٠ قرد بمعدل ٣٠ في المائة. وقد ثبت أن لهذه القرود معدلات أيض أبطأ، وفترة حياة أطول، ومعدلا أقل من السرطان ومرض القلب والسكري. وقال جورج روث من المعهد الوطني للشيخوخة: «لقد عرفنا لـ ٧٠ عاما أنك إذا أطعمت فأرا مخبريا كمية أقل من الغذاء فإنه يشيخ أبطأ ويعيش أطول ويمرض أقل. ولقد وجدنا أن القرود تستجيب بالطريقة ذاتها مثل الجرذان وأن التغيرات البيولوجية

ذاتها قد تكون المسؤولة هنا». ولكن العلماء يائسون من محاولة جعل مثل هذه الوجبة الإسبرطية جزءا من أسلوب الحياة الأمريكية. وستشحب وجوه معظم الأمريكيين هلعا، إذا رأوا الوجبة المكونة من ٩٤٠ سعر حراريا، التي من المحتمل أن تزيد من فترة حياتهم.

ولقد أوضح ستيفان أوستاد عالم البيولوجيا في هارفارد هذا الثمن الصعب الذي يتعين على المرء أن يدفعه مقابل أن يحيا فترة أطول. وقد لاحظ بعد مراجعة السجل أن الفئران التي تعيش على وجبة سعراتها الحرارية أقل لا تستطيع أن تنجب. وفي الحقيقة فإنها لا تتزاوج أبدا! وقد يصبح الناس المعتمدون على هذا النمط من التغذية المحدودة بطيئين جدا، بحيث يفقدون في النهاية اهتمامهم بكثير من الأشياء التي تجعل الحياة تستحق العيش. ولا يزال هناك متسع للنقاش العلمي حول السؤال «لماذا؟». ويعتقد رون هارت العالم في المركز الوطني لبحوث المواد السامة أن الجواب قد يقع في المقايضة التي تمت في أثناء تطور الثدييات والإنسان بشكل خاص، للحفاظ على درجة حرارة مرتفعة للجسم، ويقول هارت «تسبب الحرارة انشطار أجزاء من الجزيء بشكل عشوائي، ويجب إصلاح ذلك، وعند الحد من السعرات الحرارية يعمل المحرك بدرجة حرارة أقل، وبالتالي فإن العطل يكون أقل. إن إنقاص تناول السعرات الحرارية بمعدل ٤٠ في المائة فقط، ينقص هذا النوع من تلف الـ «د.ن.أ» الطبيعي بحدود ٢٤ في المائة تقريبا.

وأكثر من ذلك فعند درجة حرارة داخلية أعلى للجسم، يحترق الأكسجين بمعدل أكبر، مولدا بالتالي قدرا أكبر من الجذير الحر، مما يسرع أيضا من تقدم الشيخوخة. ومن الناحية الأخرى، فإن تبريد الجسم يزيد من كميات مضادات الأكسدة في الجسم. لقد وجد هارت زيادة ٤ أمثال في الكاتاليسز و٣ أمثال في الـ SOD في حيوانات تعيش على نظام غذائي محدد. ويختم هارت بقوله: «إن المدهش هو أن إدخال كميات أقل من الغذاء هو النموذج التجريبي الوحيد الذي وجد أنه يحسن من إصلاح الـ «د.ن.أ». ولقد كان مقتنعا جدا بأهمية عمله، بحيث إنه بدأ عام ١٩٩٣ بالدراسات المنتظمة الأولى حول الحد من السعرات لدى الإنسان.

(يعتقد العديد من العلماء أن عملية الشيخوخة تتم في «محرك» الخلية أو الأجسام المسبحية Mitochondria فيها، حيث تخزن المادة الكيميائية ATP

معظم الطاقة في الخلية. وليس من المستغرب أن هذا هو مكان حدوث معظم الأكسدة أيضا، حيث ينتج جذير سوبر أوكسايد الحر بكميات كبيرة، ويمكن أن يتحول السوبر أوكسايد إلى سوبر أوكسايد الهيدروجين الذي يمكن أن يتحول إلى جذير هايدروكسلي حر فعال جدا. وبمضي الزمن، فإن هذا يخفف من إنتاج أدينوسين تراي فوسفات ATP مما ينقص من كفاءة الخلية. وأكثر من ذلك، فإن الأجسام المسبحية التي تحتوي الـ «د.ن.أ» الخاص بها تفتقر إلى درع البروتين الذي يساعد على حماية الـ «د.ن.أ» النووية من مراكمة الأخطاء، وبالتالي تبدأ الخلية في التدهور على مستويات عدة سواء في مجال إنتاج الطاقة أو وظيفة الخلية. إن نظرية الأجسام المسبحية في الشيخوخة جذابة لأنها تدمج العوامل الثلاثة للشيخوخة كلها: نظرية الأكسدة ونظرية الجينات والنظرية الحرارية).

وإذا ما عُرفت الآلية التي تحكم التقييد الحراري، فقد يجد العلماء طريقة لتشغيلها دون التضحية بالسعرات الحرارية. ويستنتج هارت أن «ما نريد فعله هو أن نكتشف الآلية التي تعمل في هذه الحيوانات، ومن ثم معرفة كيف يمكن فعل الشيء نفسه دوائيا أو بالمعالجة الجينية، وهو متأكد من أنهم ماضون في إثر الجين الرئيسي للسن، ويضيف قائلا: «أتنبأ بأن يكون جين السن في متناولنا قريبا جدا».

من عام ٢٠٢٠ وحتى عام ٢٠٥٠: تربية أعضاء جديدة

ولكن حتى لو كانت هناك (جينات للسن) وباستطاعتنا أن نغير فيها، فهل سنعاني من لعنة تيثونس، الذي قُدّر عليه أن يعيش للأبد، ولكن في جسم كسيح؟ ليس من الواضح أن تغيير جينات السن لدينا سيعيد تجديد أجسادنا. فما نفع العيش للأبد إذا فقدنا العقل والجسم اللازمين للاستمتاع بهذه الحياة؟

وتظهر سلسلة من التجارب الحديثة أنه قد يكون ممكنا في يوم من الأيام «تربية» أعضاء جديدة في جسمنا لتحل محل أعضاء مهترئة. ويستطيع عدد من الحيوانات مثل السحالي والبرمائيات أن تعيد تجديد رجل أو ذراع أو ذنب مفقود، أما الثدييات فهي للأسف لا تمتلك هذه الخاصة، ولكن الخلايا في

أجسادنا اختزنت، من حيث المبدأ، المعلومات الجينية اللازمة لإعادة تجديد أعضاء كاملة في الـ «د ن أ».

لقد واجهت عمليات نقل الأعضاء في البشر ـ في الماضي ـ قائمة طويلة من المشكلات، كان أقصاها الرفض من قبل جهاز المناعة. ولكن يمكن للعلماء اليوم باستخدام الهندسة البيولوجية تربية سلالات من نوع نادر من الخلايا تدعى «خلايا مانحة عامة» لا تؤثر في جهازنا المناعي، وتدفعه لمهاجمتها. ويبشر ذلك بإمكان ظهور تكنولوجيا جديدة يمكنها «توليد» الأعضاء، كما أوضح ذلك جوزف فاكانتي من مستشفى الأطفال في بوسطن، وربرت لانجر من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا.

ولتوليد الأعضاء يبني العلماء أولا «هيكلا» بلاستيكيا معقدا على شكل العضو الذي يراد تربيته، ثم تدخل الخلايا الخاصة المهندسة بيولوجيا إلى داخل هذا (الهيكل)، وبينما تنمو الخلايا ضمن النسيج، ينحل «الهيكل» تدريجيا تاركا أنسجة صحية جديدة نامية حسب المواصفات المناسبة. والملاحظ هو أن لدى الخلايا القدرة على النمو وأخذ الموقع والوظيفة الصحيحين من دون «مراقب» يقوم بإرشادها. ومن الواضح أن «البرنامج» الذي يمكّنها من تجميع أعضاء كاملة موجود ضمن جيناتها. لقد تمت البرهنة على هذه التكنولوجيا في تربية صمامات قلب اصطناعية للحملان باستخدام بوليمر قابل للتفكك بيولوجيا، وحمض بوليجليكولي كـ (هيكل). أما الخلايا التي بذرت ضمن الهيكل فقد أخذت من أوعية دم حيوان، وقد «انسجمت» الخلايا مع الهيكل، كما ينسجم الأطفال مع ملعب في غابة.

وخلال السنوات القليلة الماضية استخدمت هذه الطريقة لتوليد طبقات من جلد البشر للاستخدام في تبديل أو ترقيع الجلد للمرضى المصابين بحروق، وقد تم لحم خلايا جلدية ولّدت على محاليل بوليمرية لمرضى مصابين بالحروق وعلى أقدام مرضى السكري، التي غالبا ما يجب قطعها بسبب توقف دوران الدم. وقد يؤدي هذا في النهاية إلى إحداث ثورة في معالجة الأشخاص المصابين بمشكلات جلدية حادة. وكما تقول ماري بيرك من مركز علوم الأنسجة المتقدمة: «نستطيع أن نولد ما يغطي ستة ملاعب كرة قدم من جلدة ختان مولود واحد». وفي الحقيقة فقد ولّدت أعضاء بشرية أيضا مثل الأذن داخل الحيوانات: لقد استطاع العلماء في معهد

ماساشوستس للتكنولوجيا وجامعة ماساشوستس أخيرا، أن يتغلبوا على مشكلة رفض الجسم للأنسجة الغريبة، وأن يولدوا (من دون ألم) أذنا بشرية داخل فأر. وقد صُنع هيكل لأذن بشرية بحجمها الطبيعي من بوليمر مسامي يتفكك بيولوجيا، و وضع تحت جلد فأر ولِّد بشكل خاص، بحيث كُبح جهازه المناعي، ثم زُرعت خلايا غضروفية بشرية ضمن الهيكل وغُذيت بعد ذلك بدم الفأر. وعندما تفكك الهيكل أنتج الفأر أذنا بشرية. ومن المفروض أن يتمكن العلماء في نهاية المطاف من توليد هذه الأذن من دون مساعدة الفأر. ويمكن لهذا أن ينتج مجالا جديدا تماما من «هندسة الأنسجة». ومنذ مدة أجريت تجارب أخرى أظهرت إمكان تصنيع الأنوف أيضا. وقد استخدم العلماء أسلوب رسم خريطة كنتورية بمساعدة الكمبيوتر، لتصنيع الهيكل والخلايا الغضروفية اللازمة لزراعة هذا الهيكل. وبعد أن أُثبتت فعالية هذه التكنولوجيا على الحجم الصغير، فإن الخطوة التالية هي في توليد أعضاء كاملة مثل الكلى. ويتنبأ والتر جيلبرت أن توليد أعضاء مثل الكبد قد تصبح شائعة بعد حوالى ١٠ سنوات. وقد يكون من الممكن في أحد الأيام استبدال أنسجة انتزعت من جسم الشخص ذاته، ثم ولِّدت بأثداء منتزعة بعملية استئصال الثدي.

لقد تم أخيرا إنجاز سلسلة من الاكتشافات لتوليد العظام. وهذا أمر مهم لأن إصابة العظم شائعة بين المسنين. وهناك أكثر من مليوني كسر خطير وإصابة غضروفية كل عام في الولايات المتحدة. وباستخدام البولوجية الجزيئية فقد عزل العلماء ٢٠ بروتينا مختلفا تتحكم في نمو العظام. وفي حالات عدة تم تمييز الجينات والبروتينات اللازمة لنمو العظام. وتدعى هذه البيروتينات ببروتينات مولدة لشكل العظام BMP حيث تقوم بإعطاء التعليمات لبعض الخلايا غير المميزة لتصبح عظاما. وفي إحدى التجارب عولج ١٢ مريضا سنيا لديهم فقد قوي بالعظام في الفك العلوي بنجاح بواسطة BMP2 (كان على الأطباء عادة أن يحصلوا على العظام من ورك المريض نفسه، وهي عملية معقدة تتطلب علمية جراحية). وسيكون الغرض النهائي من هذه التكنولوجيا توليد عضو معقد مثل اليد. وعلى الرغم من أن هذا ربما تأخر إلى عدة عقود قادمة ، فإنه يقع ضمن مجال الممكن. وقد وُضعت الخطوط العريضة لهذه العملية المعقدة خطوة خطوة: فأولا يجب بناء

هيكل لليد قابل للتفكك بيولوجيا، وأن يتم ذلك حتى أدق التفاصيل الدقيقة للروبط والعضلات والأعصاب، ويجب بعد ذلك إدخال الخلايا المهندسة بيولوجيا، والتي تنمي أشكالا مختلفة من الأنسجة، ومع نمو الخلايا يختفي الهيكل تدريجيا. وبما أن الدم لا يدور في هذه المرحلة فيجب تزويد المغذيات وإزاحة الفضلات بواسطة مضخات ميكانيكية. ويجب بعد ذلك زرع أنسجة الأعصاب (من الصعب جدا إعادة توليد الخلايا العصبية، ومع ذلك تم عام ١٩٩٦ إيضاح أن خلايا الأعصاب المقطوعة من النخاع الشوكي للفئران يمكن تجديدها فعلا عبر الجرح). وأخيرا يتعين على الجراحين أن يصلوا الأعصاب والأوعية الدموية والنظام الليمفاوي. لقد قُدِّر أن الزمن اللازم لتوليد عضو معقد مثل اليد قد يكون ٦ أشهر فقط. وفي المستقبل فقد نتوقع بناء على ذلك رؤية أنواع مختلفة جدا من قطع الغيار البشرية تصبح متوافرة في السوق من الآن وحتى ٢٠٢٠، ولكنها ستكون فقط تلك التي لا تتطلب أكثر من أنواع قليلة من الأنسجة أو الخلايا، مثل الجلد والعظام والصمامات والأذن والأنف، وربما أيضا أعضاء مثل الكبد والكليتين. وسنحصل عليها بزراعتها ضمن هيكل، أو بصورة أخرى من خلايا جينية.

ومن ٢٠٢٠ حتى ٢٠٥٠ نتوقع الحصول على أعضاء وأجزاء أكثر تعقيدا من الجسم، تحوي أشكالا متنوعة من خلايا الأنسجة التي يمكن نسخها في المختبر. وتشمل هذه ـ على سبيل المثال ـ الأيدي والقلوب والأعضاء الداخلية المعقدة الأخرى. وربما كان من الممكن بعد عام ٢٠٥٠ استبدال كل عضو في الجسم ما عدا المخ.

وبالطبع، فإن مد فترة حياتنا هو واحد فقط من عدد من الأحلام القديمة، ومع ذلك فهناك حلم أكثر طموحا، يتعلق بتصنيع كائنات جديدة لم تمشِ من قبل على سطح الأرض. وفي هذا المجال يقترب العلماء بسرعة من القدرة على إنتاج أشكال حية جديدة.



11 الاستنساخ و«تصميم» الأطفال

لكل ثقافة أساطيرها وحكاياها القديمة عن مخلوقات عظيمة صنعت من الفخار أو الطين، ففي التوراة قام الإله بنفخ الحياة في التراب، وبالتالي خلق آدم، وخلق بعد ذلك من ضلعه حواء. وفي الأسطورة اليونانية أشفقت فينوس على بيجماليون، وهو النحات الذي وقع في غرام لاتيا، وهي منحوتته الرخامية الجميلة، وبعثت الحياة في ذلك التمثال. ونسمع عبر الأساطير عن مخلوقات غريبة، نصفها إنسان والنصف الآخر حيوان، مثل القنطور والهاربيز والمينوتورز والساتيرز (والتي كانت نصف حصان أو طير أو ثور أو ماعز على التوالي).

وفي الخيال العلمي الحديث حل علم البشر محل قوة الآلهة القديمة، وعلى هؤلاء البشر تقع المسؤولية الأخلاقية في بث الحياة في مخلوقاتهم، ففي رواية «فرانكشتاين» لماري شيللي تصارع العالم الدكتور فيكتور فرانكشتاين مع المعضلة الأخلاقية المتمثلة في خلق زوج لوحشه. فإذا أنتج هذا الزواج أطفالا، فإنه

«هل سنتحكم في الحياة؟ كلنا يعلم كم نحن ناقصون، فلماذا لا نجعل أنفسنا أكثر تأقلما على البقاء؟ وذلك ما سنفعله. سوف نجعل أنفسنا أفضل قليلا»

جيمس واطسون

سيكون بذلك قد خلق أنواعا بشعة من الحياة على الأرض تنافس بني البشر. لقد شعر بالألم لأن «جنسا من الشياطين سينتشر على الأرض، مما سيجعل وجود الجنس البشري ـ بحد ذاته ـ أمرا نادرا ومليئا بالرعب، هل لديَّ الحق من أجل منفعتي الشخصية، أن أصبَّ اللعنة على الأجيال اللاحقة؟» (لم تدرك المؤلفة شيللي أن إعادة تشكيل وتوصيل أعضاء مختلفة من الجسم لا يؤثر في التكوين الجيني النهائي، فأطفال مخلوقات الدكتور فرانكشتاين ستكون لهم جينات البشر العاديين).

ومع ذلك فإن الثورة التي حصلت في الـ «د. ن.أ» المعاد، تجعلنا نعيد تحليل عدد من هذه الأساطير القديمة، من وجهة نظر مختلفة تماما، وسيصبح الحلم القديم في القدرة على التحكم في الحياة ـ تدريجيا ـ أمرا واقعا من خلال الثورة البيوجزيئية، ولكن هذا الأمر يثير السؤال التالي: ما الحدود العلمية على خلق أشكال جديدة من الحياة؟ هل يستطيع العلم، في أحد الأيام، أن يخلق أجناسا جديدة من الحيوانات الخرافية، أوحتى جيلا جديدا من الـ «الإنسان الفائق» بقدرات فوق بشرية؟

التحكم في جينات الحيوانات والنباتات

إن التحكم في المخزون الجيني للنباتات والحيوانات لخلق أنواع حية جديدة ليس بالشيء الجديد، لقد لعب البشر بجينات الأنواع الأخرى لأكثر من ١٠ آلاف سنة، خالقين العديد من النباتات والحيوانات، التي نراها حولنا، ولكن بينما نمتلك القدرة على التحكم في جينوم أشكال الحياة الأخرى، فقد تعلمنا من تهجين النباتات والحيوانات أنه قد يكون لهذا تأثيرات لا يمكن التنبؤ بها. لقد اعتبر تاريخيا أن التحكم الجيني في النباتات لخلق محاصيل غذائية جديدة مفيد جدا، بحيث إن توماس جيفرسون قال مرة: «إن الخدمة العظمى التي تُقدَّم لأي بلد، هي إضافة نبات مفيد إلى حضارته»، ولقد حصل تشارلز داروين على العديد من أفكاره حول الانتقاء الطبيعي، عن طريق مقابلة مهجني النباتات والحيوانات. لقد لاحظ داروين، كيف يمكن لبعض الخصائص أن تنتقل إلى الأولاد، عندما يقوم المهجنون بتهجين حيوانات ذات صفات خاصة مرغوبة، وخلال عدة أجيال، يمكن أن تضخم هذه الخاصة

وتشذب، بحيث تصبح خاصة رئيسية لسلالة جديدة من الحيوان أو النبات، وقد دعم هذا استنتاج دراون بأن هذا الأمر يحدث في الطبيعة، حيث يحل الانتقاء الطبيعي محل يد المهجن. على سبيل المثال، فلربما دُجنت الكلاب لأول مرة منذ حوالى ١٢ ألف عام من الذئب الرمادي، بحيث أصبح في النهاية الكلب الشائع اليوم، ولقد أنتجت عملية التهجين بين الأنواع تشكيلة مذهلة من الكلاب المهجنة لأغراض محددة، مثل الصيد وحراسة القطيع والحماية واسترداد الأشياء والصحبة. لقد فرّعت عملية التهجين الانتقائي الذئب الرمادي الأصلي إلى ١٣٦ سلالة مميزة معترفا بها من قبل نادي كينيل الأمريكي، إضافة إلى مئات أخرى لم يعترف بها، أما القطط فقد دُجنت من القطة المتوحشة في عصر متأخر نسبيا، ربما من قبل المصريين منذ حوالى ٥ آلاف عام، ربما لحماية محصول الحبوب من الفئران. إن القطط هي الحيوانات المستأنسة الوحيدة، التي انحدرت من حيوانات برية منعزلة، بينما نجد أن كل أسلاف الحيوانات المدجنة الأخرى هي حيوانات اجتماعية (ربما يفسر هذا سبب انعزال القطط وتحفظها بالمقارنة مع الكلاب).

إن أحد الدروس المستقاة من استئناس الحيوانات هو أن لكل شيء ثمنا. وبالنسبة للكلاب، فإن الميزة الكبرى لاستئناسها هي أنها تكاثرت بكثرة. ففي أمريكا الشمالية يوجد ٥٠ مليون كلب، بينما تناقص عدد الذئاب إلى ٢٨ ألفا، ولكن الكلاب دفعت أيضا ثمن العيش في حضن الحياة المترفة، فلقد ضخم التهجين الداخلي المستمر مجموعة من العيوب الجينية إلى حد بعيد، مثل العمى وتشوه الفخذ واضطرابات التجلط. وبخلق أشكال جديدة من الحياة بواسطة التكنولوجيا البيولوجية، فقد نقوم بشكل غير مقصود بإحداث ضرر غير متوقع. وبالمثل فقد حدثت عملية اللعب بجينوم النبات مباشرة بعد العصر الجليدي، الذي انتهى منذ ١٠ آلاف عام، عندما انتقل البشر من مجتمع الصيادين والملتقطين، إلى المجتمع الزراعي بقراه ومدنه، وفي الحصلة النهائية بحضارته. وخلال هذه العملية قمنا بتهجين السلالات الحالية من الذرة والفاصولياء والطماطم والبطاطا والقمح والأرز...إلخ. التي نراها في الأسواق، والتي تختلف جميعها بشكل كبير عن أسلافها. وكما في حالة الكلاب، فقد كان هناك ثمن دفع من قبل هذه المحاصيل. لقد جعلت قرون من التهجين الانتقائي ـ من قبل سكان أمريكا الأصليين ـ الذرة عالة على البشر،

بحيث لا يمكن أن تعيش وحدها، فلجعل عملية الحصاد أسهل هجنت الذرة، بحيث يحتضن وعاؤها البذرة بثبات، مما يجعل من المستحيل على البذور، أن تتفرق من تلقاء نفسها، من أجل أن تتكاثر، ولذا فإن الذرة تعتمد اعتمادا كاملا على البشر، لإطلاق البذور وغرسها في التربة، وقد تفنى من دونهم.

حتى عام ٢٠٢٠: الحيوانات والنباتات المخلّطة جينيا

على الرغم من أن التحكم الجيني في الحيوانات والنباتات استمر على مدى ١٠ آلاف عام، فإن العلماء استطاعوا خلال الـ ٢٠ سنة الماضية، فقط، أن يقوموا بالتهجين بين أنواع مختلفة، واضعين جينات مأخوذة من أحد أصناف النبات أو الحيوان في صنف آخر. وبما أن كل الحياة على الأرض، ربما تطورت من سلف أصيل لجزيء الـ « د. ن. أ » أو الـ « ر. ن. أ »؛ فليس من المستغرب أن ينتشر الـ « د. ن. أ » من أحد الأصناف، ويتكاثر بسهولة ضمن جينوم صنف آخر. ومن الممكن خلال دقائق، الآن، اختزال مئات ملايين السنين من التطور ، وخلق أصناف جديدة كاملة من حيوانات «مخلّطة جينيا» لم تمشِ من قبل على سطح الأرض.

وسيتسارع خلق حيوانات (مخلّطة جينيا) بشكل كبير، من الآن وحتى عام ٢٠٢٠، لأن الجينوم الكامل لآلاف من أشكال الحياة على الأرض سيكون لدينا كي يوجهنا. وبالنسبة للنباتات بشكل خاص، فإن الاحتمالات لا نهاية لها. يعلق أندروهيات من معهد البحوث في سكريبز كلينيك في لاجولا كاليفورنيا على ذلك بقوله «يمكننا أن نضع تقريبا أي جزيء له قيمة علاجية في النباتات»، وحاليا فإن العلماء لم ينخرطوا بعمق في مجال الكائنات المخلطة جينيا، ولكن هذه العملية ستتسارع بشكل كبير في القرن الحادي والعشرين، عندما تُفَكّ شفرة جينوم المحاصيل والحيوانات المختلفة، بشكل متزامن إلى حد ما مع الجينوم البشري.

لقد اشتمل معظم عمليات نقل الجينات الناجحة ـ إلى الآن ـ على حقن جين واحد ينتج إنزيما وحيدا من حيوان أو نبات في آخر (يمكن زرع خصائص صنف معين في آخر، كلما استطاع البروتين الذي يتحكم في عملية كيميائية معينة من كائن معين العمل بطريقة مماثلة في كائن آخر).

لقد خلقت هذه العلمية البسيطة هرمونات وكيمياويات قيّمة منقذة للحياة، عن طريق قطع جينات بشرية معينة بإنزيمات محددة، وحقن هذه الجينات في البكتيريا. ومنذ عام ١٩٧٨ أُنتج الأنسولين، الذي كان متاحا من بنكرياس الخنازير فقط، بحقن الجين البشري للأنسولين في بكتيريا القولون العصوية. وبطريقة تشبه ـ إلى حد ما ـ عملية التخمر التي تنتج الكحول، يمكن لهذه البكتريا المعدَّلة أن تنتج كميات غير محدودة من الأنسولين البشري. ويعتمد ٤ ملايين مريض بالسكري على هذه العملية المهمة. وبالمثل فإن هرمون النمو البشري، الذي كان متاحا بكميات ضئيلة فقط من الغدد النخامية للجثث البشرية، يمكن أن ينتج الآن بكلفة بسيطة، في المختبرات بالطريقة ذاتها، ومنذ ذلك الوقت صنعت أعداد من أدوية أخرى نادرة وثمينة عن طريق الهندسة الوراثية، بما في ذلك أنترليوكين ٢ (لمعالجة سرطان الكلية)، والعامل V111 (للناعور)، ولقاح لالتهاب الكبد، ومعزز تكون الكريات الحمراء (لفقر الدم)، ولقاح السعال الديكي والسوماتو تروبين للتقزم النخامي. ويمثل هذا في الواقع أحد النجاحات الكبرى للثورة الجزيئية. ومن الآن وحتى عام ٢٠٢٠ عندما تصبح سلسلة الـ «د. ن. أ» الشخصية متاحة، فقد تكون كل الهرمونات والإنزيمات النادرة الموجودة في الجسم، قابلة لإعادة إنتاجها بكميات كبيرة عن طريق حقن الجين البشري لتلك المادة الكيميائية في البكتريا وتركها «تتخمر». لقد كشف العلماء منذ مدة عن الآلية الكيميائية الدقيقة التي يؤدي من خلالها بعض المخدرات إلى إفراز مواد تنقل رسائل تجعل الأعصاب في دماغنا تنشط دفعة واحدة، وتخلق بذلك الشعور «بالانتشاء». إن القدرة على صنع مثل هذه المواد النادرة، قد تخفف يوما ما من مشكلة الإدمان على المخدرات، عن طريق تخفيض الحافز الذي يدفع الناس إلى تناولها.

ومن المنتظر أن يتسارع التقدم في تطوير حيوانات مخلَّطة جينيا بحلول عام ٢٠٢٠، ولقد حصل أول تقدم كبير في توليد ثدييات مخلطة جينيا عام ١٩٧٦، عندما ابتكر العلماء في معهد فوكس تشيس للسرطان في فيلادلفيا شكلا جديدا من الفئران عن طريق حقن فيروس سرطان الدم في خلايا جنين فأر. وقد هذبت هذه الطريقة عام ١٩٨٠، مع تطوير «الحقن الميكروي». وفي البداية أزيلت ١٥ـ٢٠ بويضة ملقحة حديثا من أنثى الفأر. وتحت المجهر

حرك أحد الفنيين عصا تحكم في أنبوب زجاجي شعري رفيع جدا، احتوى على كميات ضئيلة من الجين الغريب. لقد قامت الأنابيب الزجاجية بثقب البويضات وحقن الجين الغريب إلى البويضات الملحقة تحت المجهر، ثم حقنت البويضات بعد ذلك في فأرة حامل، حيث أنجبت عددا من الفئران بعد عشرين يوما، وقد أكد التحليل الذي أجري على الفئران الوليدة أن جينومها قد تغير بصورة دائمة.

ومنذ ذلك الحين، استخدم الحقن الميكروي بنجاح على الأرانب والخنازير والماعز والخراف والأبقار لإنتاج أنواع مختلفة من الحيوانات مخلّطة الجينات. وفي عام ١٩٨٢ أنتج العلماء جيلا من «الفئران المتفوقة» في المعمل. وقد أعلن ريشارد بالميتر وزملاؤه ـ في معهد هاورد هيوز الطبي ـ أنهم استخدموا الحقن الميكروي لحقن هرمون النمو للفأر في بويضات الفأرة، منتجين بذلك فئرانا نمت أسرع بمرتين أو ثلاث من الفئران العادية، وانتهت إلى ضعف الحجم العادي». وكما هو متوقع فقد تمكنت الفئران من نقل هذا الجين الجديد إلى أحفادها.

وبينما تبشر الحيوانات مخلطة الجينات بكميات كبيرة من الأدوية المفيدة، فإن النباتات مخلطة الجينات تعد بمحاصيل غذائية متزايدة، فالمجتمع البشري في الوقت الحالي بوضع لا يسمح بأي اضطراب ولو طفيف في مستوى إمداداته الغذائية. وهناك تقريبا ٢٥٠ ألف صنف من النباتات المزهرة التي توجد على الأرض، لا يستخدم منها في الزراعة سوى ١٥٠ صنفا نباتيا. وتؤلف ٩ أصناف منها (القمح والأرز والذرة والشعير والدخن والبطاطا والبطاطا الحلوة وقصب السكر وفول الصويا) ثلاثة أرباع طاقتنا من الغذاء، ولذا يمكن لكارثة وبائية تهاجم بعض محاصيل الغذاء الرئيسية، أن تسبب مجاعة عامة. وبما أن سكان الأرض وعددهم ٥,٧ بليون حاليا يتوقع لهم أن يتضاعفوا في السنوات الخمس القادمة أو نحو ذلك، فسيكون هناك طلب أكبر على الأراضي المحدودة الصالحة للزراعة (والتي تستمر في التناقص بسبب التحضر والتصنيع السريعين)، ولن تحل التكنولوجيا الحيوية هذه المشاكل الديموغرافية الضخمة، ولكنها قد تخفف بعضها. لقد طُبقت الهندسة الجينية للنباتات عام ١٩٨٤، عندما حقن « د. ن. أ » بكتيريا آجروباكتيريوم توميفيسيان في النباتات، وقد بيَّن العلماء عام ١٩٨٧ أن كبسولة دقيقة العيار يمكن أن تقوم بعمل «قذيفة مدفع « د. ن. أ » »، والقيام حرفيا بإطلاق الـ «د. ن. أ» على خلايا النبات. وتغطى رصاصات التنجستين أو

الذهب بشكل روتيني بالـ «د. ن. أ»، ثم تقذف داخل الخلية. ولهذه الطريقة تأثير قوي في الزراعة. ويدعي المتحدثون باسم هذه الصناعة أن حوالى نصف مساحة المحاصيل الرئيسية في الولايات المتحدة، ستحتوي جينا غريبا واحدا فيها على الأقل أوائل القرن الحادي والعشرين. ويدعي سايمون بيست - من مؤسسة زينيكا بلانت سانيز - أن «مبيعات هذه المنتجات ستكون في حدود بليوني دولار عام ٢٠٠٠ م، و ٦ بلايين دولار بحلول عام ٢٠٠٥، وربما ٢٠ بليون دولار بحلول عام ٢٠١٠". وتتوقع شركة بيونير هايبرد الدولية - وهي أكبر شركة بذور في الولايات المتحدة - أن حوالى $\frac{1}{3}$ إلى $\frac{1}{2}$ خط إنتاج بذورها سيهندس بيولوجيا بحلول عام ٢٠٠٠، ويقول ريك مكونيل - وهو نائب رئيس في بيونير - «قد يكون هذا بأهمية عملية الحصاد الأولى في الزراعة». وتستخدم هذه التكنولوجيات بنجاح كبير في إنتاج سلالات جديدة من النباتات. ومن المفترض أن نرى من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ تقدما في المجالات التالية:

نباتات منتجة للمبيدات

تستطيع النباتات المهندسة وراثيا الآن، أن تنتج مبيداتها الموجودة بشكل طبيعي. مثلا، وتنتج بكتيريا bacillus thuringiensis، والتي تدعى عادة BT، بروتينا يقتل الكثير من الحشرات، مثل دودة القطن ودودة التبغ، ونستطيع أن نضع جين هذه البكتيريا داخل المحاصيل، بحيث تستطيع أن تنتج من تلقاء ذاتها مبيدات بشكل رئيسي. وتستطيع النباتات القطنية الآن أن تحارب دودة القطن ودودة التبغ، بينما تستطيع الذرة أن تقتل حشرة حفار الذرة الأوروبية.

نباتات مقاومة للمرض

من الممكن إنتاج نباتات جديدة مقاومة للفيروسات والآفات الزراعية. وقد فصل العلماء جينا في الأرز، دعي xa 21 ، ينتج بروتينا يحمي النبات من مرض لفحة الأوراق (وهو فطر يحطم أحيانا حتى ٥٠٪ من الأرز الذي يزرع في أنحاء من آسيا وإفريقيا. ويمكن حقن هذا الجين الآن في القمح والذرة، وفي عدد من المحاصيل الأخرى لجعلها مقاومة أيضا.

نباتات مقاومة لمزيلات العشب

يمكن حقن جين من نبات البطونيا في نباتات فول الصويا، وبالتالي جعلها أكثر مقاومة لمزيلات العشب الكيميائية.

إنتاج نباتات منتجة للأدوية المفيدة

إن استخدام النباتات أسهل من البكتيريا أو الخميرة في صنع أدوية معينة، تقاوم الأمراض البشرية. الجينات البشرية المحقونة داخل هذه النباتات، تحولها في الواقع إلى مصانع لإنتاج الأدوية.

المستنسخون

إلى أى مدى يمكن تطوير هذه التكنولوجيا؟ إن أحد المجالات النشطة في البحث العلمي هو الاستنساخ. وعلى الرغم من أن الاستنساخ يعيد إلى ذاكرتنا صورا مخيفة من (عالم جديد وشجاع)، إلا أنه في الحقيقة موجود في كل مكان. فاستخدام الأغصان المقصوصة في حدائقنا لخلق نسخ مطابقة جينيا لنباتات ثمينة عملية شائعة، وتعود إلى عدة آلاف من الأعوام، ونجد في الأسواق الكبيرة نباتات وفواكه مألوفة استُنسخ العديد منها ـ في الواقع ـ من نباتات مهجنة خصيصا. وعلى الرغم من سهولة استنساخ النباتات، فإن استنساخ الثدييات عملية أعيت العلماء دائما في الماضي.

من حيث المبدأ، يمكن استنساخ كائنات حية أرقى بطريقتين: الطريقة الأولى هي إزالة خلايا من جنين (قبل أن تتخصص إلى خلايا للجلد والعضلات والأعصاب...إلخ)، ثم تعديلها وترتيبها في المعمل أو حقنها في أم بديلة. أما الطريقة الثانية فهي أصعب بكثير، وأكثر إثارة، حيث تؤخذ خلايا بالغة تخصصت بالفعل، ومن ثم جعلها ترجع بطريقة ما إلى حالتها الجنينية. لقد اعتُقد حتى وقت قريب أنه من المستحيل استنساخ حيوان ثديي بالغ، وتحتوي الخلايا البالغة من حيث المبدأ كل الـ «د. ن. أ.» اللازم لخلق كائن كامل، ولكن العلماء لم يتمكنوا في الماضي من إعادة هذه الخلايا المتخصصة إلى وضعها الجنيني الأول. ولأكثر من عقد تخلى

العلماء عن الأمل في جعل خلية جلدية - على سبيل المثال - تعيد توليد حيوان كامل.

لقد تغير كل هذا مع عمل ايان ويلمت wilmut من معهد روزلين بالقرب من أدنبرة في اسكتلندا، ولقد كان العالم غير مهيأ لإعلانه عام ١٩٩٧ أنه أتم بنجاح الطريقة الثانية، وهي استنساخ نعجة من خلية بالغة عن طريق استخلاص خلية من الغدة الثديية لنعجة بالغة. وبعد ٢٧٧ محاولة غير ناجحة أنتج فريق ويلمت أول ثديي مستنسخ في العالم لنعجة بالغة دعوها دوللي، وقد رحبت مجلة نيوزويك بهذا الحدث قائلة: «لم يسبق أن حدث شيء رائع يماثله، منذ أن أخذ الله ضلعا من آدم وخلق منه زوجة له».

لقد بدأ عمل ولمت بشكل تقليدي تماما، فلقد قام فريقه أولا باستخلاص نواة خلية من نعجة بالغة، وكما في السابق فقد استخدموا نبضا كهربائيا من أجل دمج هذه النواة مع خلية جنينية أزيحت نواتها. وعادة يرفض هذا الهجين أن يصبح جنينا، لقد كان سر نجاح ولمت هو أنه جعل الخلية «تقوم بإيقاظ جينات نائمة مخزونة في نواتها منذ مدة.

إن معظم «د. ن. أ» الخلايا الناضجة مخبأ عادة، وبالتالي يكون بعيدا عن المتناول، مما يضمن ألا تصبح خلايا الجلد فجأة خلايا كبد، على سبيل المثال. ولقد عرف العلماء مسبقا أن الهيكل البروتيني الذي يحيط « د. ن. أ» خلية ناضجة، مسؤول إلى حد ما عن إغلاق هذه الجينات. لقد كان التحول الذي صممه فريق ويلمت هو في «تجويع» الخلايا لفترة أسبوع ، حارمين إياها من المغذيات، مما غير - إلى حد ما - من الهيكل البروتيني الداعم لها. وقد خدعت هذا الخلايا، لتقوم بإعادة تنشيط خلاياها النائمة والعودة إلى الحالة الجنينية.

لقد أثبت هذا الإجراء من قبل فريق ولمت خطأ «قانون» من قوانين الطبيعة، ذكر غالبا في المراجع، وهو أن الخلايا البالغة عندما تتخصص لا يمكن لها أن ترتد إلى حالة جنينية غير متخصصة. وقد يكون لهذا الأمر فوائد طبية ضخمة في المستقبل، فمن المعروف أن إعادة توليد خلايا النخاع الشوكي والدماغ والقلب صعبة جدا، لأنها «نسيت» كيف تتكاثر كما كانت تفعل، وهي في الحالات الجنينية. وإذا تمكن أحد ما من جعل هذه الخلايا تتكاثر، فإن هذا قد يمكن الأطباء من إصلاح النخاع الشوكي المكسور، في حالات كسور الظهر الخطيرة، وإعادة توليد نسيج الدماغ بعد النوبات، وإصلاح القلوب المعطوبة بعد الأزمات

القلبيـة. وإذا أمكن إعـادة تنشـيط هذه الخـلايا، يمكن عـلاج مـلايين الأشـخاص المقـعـدين في كـراسي العـجـزة، أو الذين يذوون مـشلولين في المسـتـشـفـيـات والمصحات، وتتضمن الفوائد الأخرى تطوير أعضاء بديلة مثل: الكبد لمرضى نقل الأعضاء واستنساخ أصناف حيوانية مهددة، تجد صعوبة التكاثر وهي في الأسر.

ولا تزال هناك عـقـبـات كثيرة، فـالتجـربة تنتظر أن تكرر في مـخـتـبـرات أخرى. وإضـافة إلى ذلك، فإن خـلايا دوللي المستنسـخة من نعجة بالـغة بعمر ٦ سنـوات، قـد تظـهـر دلائـل علـى شـيـخـوخـة مـبكرة. وأيضـا فـإن التلف الجيني احتمال واضح فـي الاسـتنسـاخ، والأكثـر أهمية، هو أن الآلية الدقيقة التي تجعل الخلايا «تتذكر» جينات نسيت منذ فترة، لا تزال تنتظر التفسير.

ويقول رون جيمس من بي. بي. إل ثيـرا بيوتيك، التي قدمت ثلث التمويل لو يلمت ـ أن التطبيـقات العمليـة تتضـمن خلق قطعان من الغنم تنتج حليـبا يحتوي أدوية وإنزيمات مـفيـدة، ولكنه عندما سئل عن الفـترة التي تسـتخـدم بعدها هذه التكنولوجيـا لاسـتنسـاخ البشـر، أجاب قـائلا «أتمنى أن تطول إلى الأبد». ومن الصعب دوما تحقيق القفزة من الحيوانات إلى البشر. ولكن عالم الأخـلاق البيـولوجيـة آرثر كابلان، يتنبأ بأن الإنسـان المستنسخ الأول سيظهر خـلال ٧ سنوات، وحتى لو حُرِم استنسـاخ البشـر، فمن المحتمل أن تتطور مع الزمن صناعة استنساخ سرية.

ويثـيـر الاسـتنسـاخ بالطبع قـضـايا أخـلاقـيـة شـائكة. سـوف أعـالجـهـا في الفصل التالي. ولكن المعضـلات الأخـلاقيـة التي تنشـأ من الاسـتنساخ بسـيطة، بالمقارنة مع تلك التي تنجم عن الهندسـة الجينيـة؛ فـالاسـتنسـاخ لا ينـتج سـوى نسخة طبق الأصل لكائن ما، أما الهندسـة الجينيـة فتعد بإمكان تغيير الجينوم البشري، وبالتالي الجنس البشـري ذاته. ولإعطاء مـقارنة فمن السـهل الحصول على صورة مطبوعة لأعمال شكسبير. ولكن تطويرهـا أصعب من ذلك بكثير.

مابعد ٢٠٢٠: خصائص من جينات متعددة

إن تطور التكنولوجيـا الحيـوية سيـسـتمر، كمـا رأينا، في التسـارع حتى عـام ٢٠٢٠، نتيـجـة لعمليـة السلسلة الآليـة للـ « د. ن. أ » التي تتم علـى الكمـبيـوتر. ومـادمنا نركز على نقل جين وحيد إلـى النباتات والحيوانات، فيفترض أن نتمكن

من خلق أي عدد من التأثيرات المرغوبة. ومع ذلك، فمن المحتمل أن يتباطأ التطور بعد عام ٢٠٢٠ بشكل كبير. أولا، ستستكمل التطورات الهائلة التي أدت إليها سلسلة الـ « د. ن. أ » باستخدام الكمبيوتر. وثانيا فإن الخصائص الأكثر تعقيدا هي عادة متعددة الجينات، وتتضمن تداخلات بين عدد من الجينات والبيئة. وثالثا من أجل تحديد بنية عدد من البروتينات المعقدة، وبالتالي خصائصها، نحتاج إلى حل مسألة « انغلاق البروتين» الصعبة جدا (لنتذكر أن التصوير بأشعة إكس غير مفيد في تحديد البيئة الفراغية للبروتين، إذا لم نستطع بلورته). ويجبر هذا الأمر العلماء على استخدام فيزياء الكم وأجهزة الكمبيوتر لحساب كيف ينغلق جزيء البروتين.

وكما أن امتلاك أرقام هواتف كل شخص في الولايات المتحدة، لا يعني أننا نعرف ما يعمله كل منهم من أجل معيشته، وما يفكر فيه، أو كيف يعمل المجتمع الأمريكي ككل، كذلك فإن معرفة موقع الـ ١٠٠ ألف جين في جسمنا لا يوحي بأننا نعرف وظائفها، أو كيف يتداخل بعضها مع بعض، ومع البيئة. وبينما نقترب من عام ٢٠٢٠، سيتحول التركيز في التكنولوجيا الحيوية تدريجيا، نتيجة لذلك، من سلسلة الـ «د. ن. أ» إلى تحديد طريقة عمل الجينات وتفاعلها مع بعضها البعض، وهو ما يدعى «علم وظائف الجينات» Functional Genomics، وعلى نقيض سلسلة الـ « د. ن. أ » التي تطورت بسرعة استثنائية، لأنه كان من الممكن دراستها باستخدام الكمبيوتر وأتمتتها، فإن مهمة علم وظائف الجينات ستكون بطيئة جدا. وفي الحقيقة قد لاتتم حوسبة هذه العملية بالكامل أبدا. إن إحدى الطرق لتحديد وظيفة الجينات هي تحليل جينات حيوانات أخرى، لقد جهد العلماء، لسنوات، في تحويل جينات محددة في ذباب الفاكهة والفئران وإزالتها لمعرفة كيف يتأثر الجيل الناتج عن هذه العملية. وبسبب دورة التكاثر السريعة لهذه الحيوانات، استطاع العلماء الحصول على بيانات معملية مفيدة بشكل سريع نسبيا. وعندما تُحدَّد وظيفة جين ما في حيوان، يأمل العلماء أن يجدوا مثيله في الجينوم البشري، بالبحث عن طريق الكمبيوتر، ولكن الجينات البشرية تختلف غالبا عن مثيلاتها الحيوانية بعدد من سلاسل الـ « د. ن. أ» الرئيسية، ونتيجة لذلك لا يمكن للمرء أن يتأكد تماما من الوظيفة المحددة لجين بشري. إن هذا الجهد الذي يعتمد على العمالة بشدة، لا يمكن أقلمته بسهولة للعمل عليه

بالكمبيوتر، وبسبب صعوبة الكشف عن خصائص متعددة الجينات. فقد لا يتمكن العلماء ـ من الآن وحتى ٢٠٢٠ ـ من فعل شيء أكثر من فصل عدد من الجينات الشخصية الرئيسية، التي تساهم في الخصائص متعددة الجينات. وبالقياس فلن يتمكن العلماء من رؤية النسيج الكامل لهذه الجينات، ولكنهم سيتمكنون من فصل الخيوط التي حيكت منها منفردة وفحصها. على سبيل المثال، من المفترض أن يتمكن العلماء من فصل الجينات، التي تتحكم في خصائص معينة متعددة جينيا، بصورة منفردة، مثل شكل أجسامنا، بما في ذلك وجهنا والأشكال الأولية لتصرفنا.

ومن المفترض أن يتمكن العلماء من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠، أن يحيكوا هذه الخيوط المنفردة مع بعضها، ويحددوا كيف يصنعون تصورا للنسيج بأكمله، وسيكون التقدم أبطأ، ولكن ربما أمكن خلال تلك الفترة فك شفرة بعض الخصائص متعددة الجينات، وعلى الأخص تلك التي تتحكم فيها مجموعة صغيرة من الجينات. ومع ذلك، فإن التحكم في أكثر من حفنة من الجينات سيبقى أبعد من متناول أيدينا لعقود عدة قادمة، وحتى بعد عام ٢٠٥٠ سيكون العلم عاجزا عن إنجاز المعجزات الجينية، التي توصف أحيانا في كتب الخيال العلمي.

ومن المحتمل أنه سيكون من غير الممكن التحكم في الجينات، التي تتحكم في تطوير أعضاء كاملة، ويلزم عدة آلاف من الجينات للتحكم في الأعضاء الرئيسية في الجسم، ومن الممكن أن يكون هذا خارج نطاق التحكم الجيني (ماعدا أن يتم ذلك بصورة ضئيلة فقط)، حتى في أواخر القرن الحادي والعشرين. إن فكرة نقل أعضاء كاملة (مثل الأجنحة) عبر أصناف مختلفة من الكائنات سيكون من المؤكد تقريبا فوق أي شيء يمكن الحصول عليه في القرن الحادي والعشرين.

وباختصار، فإن التقدم في مجال الكائنات مختلطة الجينات، سيكون هائلا في بداية القرن الحادي والعشرين، ما دام يتعلق ببروتين واحد، منقول من أحد أشكال الحياة إلى الآخر، معطيا إيانا الإمكان لإنتاج كائنات جديدة ولاستنساخ أخرى. ولكن التكنولوجيا التي صُورت بشكل غريب في أفلام هوليوود (أي إنتاج «الإنسان الفائق» أو السوبرمان، والتي تتضمن التحكم في آلاف الجينات) ربما تتحقق بعد عدة قرون، هذا إذا كانت ممكنة على الإطلاق. ولا نستطيع حاليا سوى نقل قطع من الـ «د. ن. أ» من كائن إلى آخر

بصعوبة، ناهيك عن تعديل مئات، إن لم تكن آلاف الجينات، التي تتحكم في وظائف أجسامنا الأساسية.

من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠: أطفال مصممون

بين الخصائص متعددة الجينات التي تتحكم فيها حفنة صغيرة من الجينات، هناك خصائص تحدد الشكل العام لجسم الإنسان، والأشكال البسيطة للتصرف. هل يمكن استخدام هذه الأساليب التقنية لإنتاج «أطفال مصممين» بحيث يقرر الآباء جينات أطفالهم؟

إن العلم سيمتلك في المستقبل القريب، القدرة على تغيير جينات نسلنا، ما لم يُمنع ذلك عن طريق القانون. ومنذ فترة أصبح من الممكن التحكم في طول أطفالنا عن طريق هرمونات نمو مهندسة جينيا. وسيتبع ذلك قريبا عدد من الخصائص الأخرى، التي يتحكم فيها بروتين واحد.

جينات لشكل الجسم

يقترب العلماء الآن من اكتشاف الجينات القليلة التي تتحكم في وزن الجسم، والتي تدعى «جينات البدانة»، وقد عُثِر على خمسة من هذه الجينات في الفئران، كما تم إيجاد مماثلاتها في البشر أيضا. ويعتقد العلماء أنها تتحكم في وزن أجسامنا أيضا. ومن المتوقع العثور على جينات منفردة عديدة أخرى في العقد القادم، على الرغم من أن العلماء لن يمتلكوا وصفا كاملا لكيفية تفاعل هذا العدد المختلف من الجينات، من أجل التحكم في عمليات الأيض لدينا، وشكل أجسامنا حتى ٢٠٢٠. ويمكن أن تكون للسيطرة على حفنة الجينات، التي تتحكم في وزن أجسامنا نتائج مهمة. وحسب تقرير معهد الطب لعام ١٩٥٥، فإن ٥٩٪ من السكان البالغين في الولايات المتحدة بدينون، ولم يؤدِّ هذا إلى توليد صناعة ضخمة لإنتاج الكتب والأشرطة وبرامج وجبات الغذاء فحسب، وإنما أصبحت كلفة العبء الصحي الناجم عن البدانة عالية جدا. وحسب علماء الأوبئة في مدرسة هارفارد الطبية، فقد كلفت البدانة الأمة الأمريكية ٤٥,٨ بليون دولار على شكل فواتير صحية عام ١٩٩٠، إضافة إلى ٢٣ بليون دولار كلفة العمل الضائع، مما ساعد على رفع

تكاليف الرعاية الصحية إلى السقف، وأدى إلى موت ٣٠٠ ألف أمريكي، فالسكري وأمراض القلب والنوبات وسرطان القولون من بين المضاعفات الشديدة للبدانة.

إن حقيقة مرور كل مجتمع صناعي بهذا النمو الكبير في الجسم، لا يشير إلى التوافر الشائع لأغذية بشحوم مرتفعة فحسب، ولكن ربما أيضا إلى ميل جيني إلى البدانة. وعن طريق تحليل توأمين ربيا في بيئتين مختلفتين، يمكن للمرء أن يقدر كميا مدى خضوع الطول والوزن للعنصر الجيني. وتظهر معظم الدراسات أن ٥٠٪ من أوزاننا وأطوالنا يُتَحكم فيهما جينيا (وإن كان هناك من اكتشف أن نسبة الارتباط تصل إلى ٨٠ ٪). وتظهر هذه الدراسة على التوائم أن وزن الجسم يتأثر بالجينات، على الرغم من أنه غير محكوم بجين واحد، ويتعلق الأمر بعدد من الجينات ينتج، بعضها من تأثيرات ناجمة عن البيئة.

لقد بدأ العلماء يقدرون كيف تتفاعل هذه الحفنة من الجينات مع بعضها البعض، ويبدو أولا أن هرمون الليبتين، الذي تتحكم فيه هذه الجينات، يتحكم في الشهية للأكل. فكلما ازددت وزنا، أنتجت كمية أكبر من الليبتين، مما يزيد من عملية الأيض ويغلق الشهية. وإذا أصبحت نحيلا جدا تبدأ مستويات الليبتين في الانخفاض وتزداد الشهية، وتحرق كمية أقل من الشحوم.

وثانيا بما أن دورة التغذية المرتدة تمر عبر المخ فإن بالإمكان تصنيع أدوية تؤثر في الرسائل العصبية المرتبطة بمشاعر الشبع والشعور بالاكتفاء، إن مخفض الشهية أديكسنين فلورامين (الذي وافقت عليه منظمة الأغذية وهيئة الأدوية الأمريكية (FDE) عام ١٩٩٦ تحت اسم ريداكس، ولكنه متاح منذ مدة في ٦٥ بلدا آخر) هو واحد من عدة أدوية تتحكم في عامل استثارة عصبي كابح للشهية هو السيروتين.

ويحلول عام ٢٠٢٠ سيزداد عدد هذه الحفنة من الجينات المنفردة حتى يحصل العلماء على فهم كامل للجينات المنفردة التي تتحكم ليس بالدهون في الجسم فقط، وإنما في شكل الجسم الكلي أيضا، بما في ذلك عضلاته وجهازه الفقري. ولكننا قد لا نفهم كيفية تفاعل هذه الجينات المنفردة بعضها مع بعض من أجل توليف هذه الخصائص متعددة الجينات والتأثير في شكل جسم الإنسان حتى بعد عام ٢٠٢٠.

جينات للوجه وفروة الرأس

وبالمثل يفترض أن تعزل الجينات المنفردة التي تتحكم في خصائص وجهنا وفروة رأسنا في أوائل القرن الحادي والعشرين. ولقد أُعلن عام ١٩٩٦ أنه عُزِل جين لنمو الشعر من قبل فريق يعمل بشكل رئيسي في جامعة واشنطن في سانت لويس. ويمكن لتلف في صبغي X لهذا الجين أن يسبب خللا في أنسجة التعرق والذي يؤثر في حوالى ١٢٥ ألف أمريكي، وأحد أعراض هذا المرض هو الصلع أو فقدان الشعر الشديد (إضافة إلى فقدان الأسنان والتطور السيء لغدد التعرق أو فقدانها، ولا تتأثر النساء بهذا المرض!)، ويأمل العلماء أن يتمكنوا من التحكم في الصلع بدراسة هذا الجين.

وفي الطرف المقابل قد يكون العلماء قد وجدوا الجين على صبغي X، والذي يسبب نمو الشعر غير المنضبط، الذي يدعى اختصارا «متلازمة الإنسان الذئب»، ويؤدي هذا المرض إلى نمو مفرط في الشعر، بحيث يغطي معظم الجزء العلوي لأجسام و وجوه من يصابون به، وقد انتهى المطاف بهؤلاء الناس للأسف للعمل في عروض السيرك (يعتقد العلماء أنه كان للبشر غطاء شعري واقٍ، في فترة ما، ولكن تحولا جينيا في فترة ما من تاريخنا التطوري أغلق هذا الجين). وربما يعني هذا بدوره أننا لا نزال نمتلك مئات الجينات التي أُغلقت لملايين السنين، وتمثل الصفات التي كانت توجد في أجساد أسلافنا البدائيين.

وقد استطاع العلماء أيضا أن يعزلوا بعض الجينات التي تؤثر في شكل الوجه. ويجد العلماء الذين يحللون عيوبا جينية نادرة بصورة متزايدة أن الجين لا يرمز إلى عضو واحد فقط، وإنما أيضا إلى خصائص وأعضاء مثل الوجه والقلب واليدين أيضا. ويلاحظ روبين وينتر من معهد صحة الطفل في لندن مايلي «يكتشف الناس الآن الجينات التي تعطي الوجه مظهره، وكثيرا ماظهر هذا كمفاجأة إما لأنهم لم يسمعوا بهذا الجين من قبل وإما لأنه ليست لديهم أي فكرة عن علاقته بالوجه». وتتضمن الجينات الأخرى التي وجد أن لها علاقة بالوجه جينات متلازمة ويليامز، ومتلازمات كراوزن وفايجر وأدينبورج وتريتشر كولينز.

وبعزل حفنة الجينات الإفرادية التي تتحكم في أجسامنا وأوزاننا وفروات رؤوسنا ووجوهنا، قد يتمكن العلماء أخيرا من معالجة العيوب الظاهرة التي

تصيب الناس الذين يعانون هذه الأمراض الجينية. وبحلول عام ٢٠٢٠ يفترض أن تزداد هذه المجموعة الصغيرة من الجينات إلى مجموعة كاملة تقريبا من الجينات، التي تتعلق بالوجه وفروة الرأس. ولكننا قد لانفهم الطرق المعقدة التي تتفاعل فيها هذه الخصائص متعددة الجينات للتحكم في شكل أجسامنا ومظهر وجوهنا حتى بعد ٢٠٢٠ وبالنسبة للمستقبل المنظور فإن أفضل طريقة لتكون جميلا، كما قال كانديس بيرجن ذات مرة هي «أن تنتقي والديك بشكل جيد».

جينات للتصرف والسلوك

لقد شك العلماء لفترة طويلة في أن بعض أنواع التصرف يتأثر بالجينات، ويرتبط بشبكة معقدة من الجينات والمؤثرات المعقدة من البيئة. ولكن يتم الآن لأول مرة في التاريخ عزل حفنة من الجينات المنفردة، التي ترمز إلى أنواع محددة من التصرف (وسوف أناقش المضامين الاجتماعية المهمة لهذا البحث في الفصل القادم).

لقد كان أحد التطورات المهمة هو الاكتشاف - في عام ١٩٩٦ - بأن جينا وحيدا دعي FRU يتحكم تقريبا في كامل طقوس الغزل لذكر ذبابة الفاكهة. ولأول مرة اكتشف العلماء جينا واحدا يتحكم في وظائف الدماغ المعقدة. ولقد بيَّن علماء من أربع جامعات هي (جامعة ستانفورد وجامعة المركز الطبي الجنوبي الغربي في تكساس وجامعة ولاية أوريجون وجامعة براندايس) أن هذا الجين الوحيد مسؤول عن إدراك ذكر ذباب الفاكهة لأنثاه، وملامستها والغناء عن طريق هز أجنحته، والزواج بها، إذا لقي غناؤه قبولا. وبما أن دماغ ذباب الفاكهة بسيط نسبيا، إذ إنه يحتوي على ١٠ آلاف خلية فقط (وهذا أقل بـ١٠ ملايين مرة من دماغ الإنسان)، فربما كان عدد من أنماط التصرف موصولا بالدماغ بشكل قوي. ومن المتوقع أن يُكشف عن جينوم ذباب الفاكهة بكامله حوالى عام ٢٠٠٠. وبما أن السجل الكامل لتصرف ذباب الفاكهة ليس ضخما جدا، فقد نتوقع أن يميز العلماء الجينات التي تتحكم في أشكال التصرف في حوالى عام ٢٠١٠.

أما الجينات التي تساهم في تصرف الفئران فهي أكثر تعقيدا، ومع ذلك فقد اكتُشف عدد قليل منها، قد تكون لها تأثيرات مباشرة في صحة الإنسان، وعلى

سبيل المثال، عزل العلماء عام ١٩٩٧ جينا يؤثر في الذاكرة مما يشكل علامة بارزة في البحث الجيني. لقد شك العلماء لفترة طويلة في أن الدماغ يعالج أولا العديد من خبراته في قرين آمون: وهي بنية صغيرة على شكل حبة كاشو تقع داخل أعماق الدماغ. إن قرين آمون الذي يساعد في بناء (خريطة عقلية) بثلاثة أبعاد للبيئة المحيطة بنا مهم جدا لقدرتنا على الحركة في العالم الواقعي.

وربما تعالج الذكريات أولا وتُحفظ في قرين آمون الدماغ لعدة أسابيع، قبل أن تنقل إلى القشرة الدماغية من أجل تخزينها بشكل دائم. وقد يفسر هذا السبب في أن الناس الذين لديهم تلف في المخ يتذكرون أمورا قديمة حدثت، مخزونة في القشرة الدماغية، في حين يصعب عليهم تذكر أحداث قريبة وقعت لهم.

ويحتوي قرين آمون دماغ الفئران على مليون خلية عصبية كبيرة تدعى (خلايا المكان)، والتي تمكن الفئران من معرفة مواقعها في المكان، وتدعم خلايا المكان ـ هذه ـ ذاكرتها عبر البروتين كاينيز. لقد أعلن العلماء في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا وفي جامعة كولومبيا كل منهم على نحو مستقل عام ١٩٩٦ ـ أنه باستطاعتهم تغيير ذاكرة الفئران عن طريق تغيير جين يرمز إلى الكاينيز (استطاع فريق كولومبيا أن ينتج سلالة من الفئران أنتجت جزيئا منقوصا من هذا البروتين. وقام علماء من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا بإسقاط جين هذا البروتين المتلقى من خلايا قرين آمون منتجين فئرانا تفتقر نهائيا إلى هذا البروتين. وفي كلتا الحالين ظهرت الفئران طبيعية تماما، ولكن قدرتها على إيجاد طريقها تضررت إلى حد كبير. فالاتصالات بين خلايا أعصابها، التي تدعى المشابك العصبية synapses، لم تتشكل بصورة صحيحة، وبالتالي لم تستطع الفئران أن تتعلم كيف تتأقلم مع بيئات جديدة).

وقد يكون لوجود جينات مماثلة لجين الذاكرة الخاص هذا في البشر تأثير كبير في الطب أيضا. ويعتقد والتر جيلبرت أن هذا قد يمكن العلماء من تصنيع أدوية تساعد الأشخاص الذين يعانون ضعف الذاكرة بحلول ٢٠٢٠. فمرض الخرف ـ على سبيل المثال ـ يبدأ مع قرين آمون، ويسبب فقدان الذاكرة لفترة قصيرة. ولكن جيلبرت يعتقد أيضا أن هذا التطور سيقود إلى أدوية تساعد على تقوية الذاكرة، وخبرات التعلم للناس العاديين أيضا. وفي المستقبل القريب قد يكون من الممكن زيادة قدرة الفرد على استيعاب خبرات جديدة عن طريق ابتلاع

بروتين يساعدنا على تشكيل مشابك عصبية، synapases جديدة. وعلى الرغم من أن ذاكرة البشر قد تتأثر بتفاعل معقد جدا للجينات إلا أن جيلبرت يتوقع أن نتمكن من تصنيف زمرة من أدوية تنشيط الذاكرة بعد حوالى عقد من الآن.

وهناك شكل آخر من أشكال التصرف، قد تكون له جذور جينية، وهو إدمان الخمر الذي يساهم في نصف كل حوادث المرور وأعمال العنف في الولايات المتحدة، ويكلف هذا البلد حوالى بليون دولار في العام. وبما أن احتمال تحول التوأم المتطابق إلى مدمن للخمور، إذا كان التوأم الآخر مدمنا للخمر، يبلغ الضعف فإن هناك ارتباطا جينيا مؤكدا لإدمان الخمور. وبما أن العلاقة غير تامة فيجب إدخال عدة جينات أخرى بما في ذلك مثيرات من البيئة في هذه العلاقة أيضا، وإلى الآن وجد العلماء دليلا على جينات إدمان الخمور على الصبغيات ١و٤ و ٨ و١٦.

وفي عام ١٩٩٦ أُكتشف جين يساهم في «القلق»، ويشفر هذا الجين للسيروتونين، والذي هو الناقل العصبي نفسه المستهدف من قبل مضاد الكآبة بروزاك. ويصادف هذا الجين بأشكال طويلة وأخرى قصيرة تُورث من الآباء. لقد اختُبر الأشخاص الذين يمتلكون جينات طويلة / طويلة (ويشكلون حوالى ثلث السكان) في اختبار الشخصية، و وجد أنهم متفائلون في نظرتهم إلى المستقبل، أما باقي الناس الذين يرثون الجين القصير فقد سجلوا درجات أعلى من القلق والكآبة والعصاب. وفي السنة ذاتها أعلن علماء النفس في جامعة مينسوتا أنه من الممكن أن يكون للشعور بالـ«سعادة» أساس جيني. وعلى الرغم من أنهم لم يحددوا جينا معينا يتحكم في الـ«سعادة» إلا أنهم يدعون بعد تحليل ٢٠٠٠ توأم ولدوا بين عامي ١٩٣٦و١٩٥٥ في مينسوتا أن هناك استعدادا يبدو متصلا على نحو وثيق بجيناتنا. وإذا واجهنا حظا جيدا أو أوقات سيئة، فإننا نرتد في النهاية إلى هذا الاستعداد، وسيقرر الزمن عن طريق تحليل مستقل فيما إذا كانت هذه الجينات مؤكدة. والمهم هو أننا بدأنا - لأول مرة - في عزل جينات منفردة تساهم في الخليط المعقد الذي يخلق الخصائص متعددة الجينات، وسيتسارع اكتشاف هذه الجينات المنفردة في المستقبل، وستُكتشف جينات منفردة تساهم في تشكيلة واسعة من أنماط التصرف بحلول عام ٢٠٢٠. ولكن قد تمضي سنوات عديدة بعد ذلك قبل أن نفهم كيف تتناغم الجينات مع بعضها، وكيف تأخذ المؤثرات من البيئة.

بعد عام ٢٠٥٠:

في فيلم الذبابة يلعب جيف جولد بلوم دور فيزيائي لامع يصمم أول (ناقل عن بعد) في العالم، مما يحدث ثورة في النقل، وذلك بتفكيك جزيئات البشر، ثم نقلها عبر المكان، ثم إعادة تشكيلها من جديد. ولكنه عندما يدخل غرفة الناقل عن بعد لا يرى ذبابة صغيرة تدخل معه. وعندما ينتقل عبر المكان، تختلط «د. ن. أ» الذبابة مع الـ«د. ن. أ» التابعة له. ويدهش عندما يكتشف أن دنا الذبابة في جسمه بدأ يغير ببطء عمليات الأيض وشهيته وحافزه الجنسي وقواه الجسدية وشكل جسمه، ويتحول ببطء وعلى نحو بشع إلى ذبابة عملاقة.

إننا الآن نعرف ما يكفي حول الهندسة الوراثية لنقوم باستنتاجات معقولة حول بعض السيناريوهات في قصص الخيال العلمي. وعلى سبيل المثال من غير المحتمل أن يحول اتحاد عشوائي لآلاف الجينات البشرية والذبابية أحد الأنواع إلى آخر، فالحقيقة أكثر تعقيدا من ذلك بكثير. إن الكثير من الجينات التي تتحكم في الشكل العام لأجسامنا، لا تنشط إلا في الحالة الجنينية، وعند البلوغ تكون خلايانا قد تخصصت إلى أعضائنا الحالية، وبالتالي فإنها لا تستجيب إلى تعليمات جديدة تغير وظيفتها، ولذا فإن دمج الـ«د. ن. أ» من حيوانات أخرى لا يسبب تغيير جسم الإنسان إلى حيوان، ففي معظم الأحوال لا يحدث شيء على الإطلاق.

ولكن خلط الجينات بشكل عشوائي سيغلق العديد من العمليات البيوكيميائية للخلية البشرية. إن الهدف من جيناتنا هو إنتاج البروتينات التي تتحكم بعد ذلك في التفاعلات الكيميائية، وتخلق الأنسجة، وإذا خلطت الجينات، فقد لا تنتج هذه البروتينات بعد ذلك. ونتيجة لذلك فقد تتوقف الخلية عن العمل في النهاية وتموت. لذا فبدلا من تحويل كائن حي إلى آخر تدريجيا فإن خلط الـ«د. ن. أ» بشكل عشوائي ربما يسبب اختلال عمل أعضاء الجسم وموتها تدريجيا، ولذا فقد يكون كثير من العقد التي تشكل حبكة قصص الخيال العلمي غير ممكن.

ويبدو من الوهلة الأولى أن محاولة فك شفرة آلاف الجينات اللازمة لإنتاج عضو واحد من الجسم مهمة لا أمل فيها، وعلى سبيل المثال، من

المعتقد أن جهازنا العصبي قد يتعلق بنصف الجينوم البشري تقريبا، أي بحوالي ٥٠ ألف جين.

ويبدو أن فك هذا العدد الكبير من الجينات غير ممكن. ولكن لا يتبع من ذلك بالضرورة أن نغرق في فوضى تامة في الفترة بعد عام ٢٠٥٠: إن أحد المفاتيح لفهم الخصائص متعددة الجينات هو التركيز على «الجينات المسيطرة»(*) (جينات البنية الأساسية) التي تطورت على مدى مئات ملايين السنين من التطور. وقد عَزَل العلماء مسبقا الجين المسيطر الذي يتحكم في عين ذبابة الفاكهة، والذي يمكن التحكم فيه حسب الرغبة تقريبا.

الجينات المسيطرة للعين:

إن التطور، كما اكتشف العلماء، يبنى عادة على أبنية سابقة. وعلى الرغم من وجود استثناءات لهذه القاعدة، فنحن نرى الطبيعة تؤقلم عادة الأبنية السابقة وتجبرها على تبني أبنية جديدة، ولذا لا تزال هناك ـ حتى في أجسامنا ـ بقايا من الجينات التي تحكمت في وظائف أسلافنا الأوائل (إنه لمن المذهل أن ندرك أن جينومنا يحتوي على مراحل من التاريخ التطوري المبكر لأنواعنا، والذي يعود إلى السمك والديدان وحتى أوائل البكتيريا). وإلى درجة ما، يمكن رؤية ذلك بيانيا في تطور الجنين البشري، الذي يكرر في مراحله الأولى تطور الديدان والأسماك والثدييات. وكما قال داروين في «أصل الأنواع»: «إن الجنين هو حيوان في حالته الأقل تعديلا. وبهذا فإنه يكشف بنية أسلافه». وتنص إحدى النظريات على أن الخياشيم التي توجد في الجنين البشري هي بقايا للخياشيم القديمة، التي كانت موجودة لدى أسلافنا من أشباه السمك.

ولكن ثورة الـ «د. ن. أ» تثير أيضا بعض المفاجآت، مجبرة إيانا على مراجعة كتب علم الأحياء. وعلى سبيل المثال، اعتقد علماء الأحياء لعقود مضت أن التطور «اكتشف» العين مرة بعد مرة بشكل مستقل في فروع مختلفة جدا من شجرة الأسلاف، فعين حيوان ثديي مزودة بشبكية وحيدة تختلف كثيرا عن عين الذبابة التي تحتوي ٧٥٠ ناحية سداسية الشكل، بحيث افترض دائما أن التطور

(*) Genes Master

جاء بطريق التجربة والخطأ بفكرة عين متميزة ٤٠ مرة في مملكة الحيوان. ومع ذلك، فقد تساءل بعض علماء الأحياء عن مغزى وجود الصبغة اللازمة لالتقاط شعاع الضوء في كل تلك العيون، إذا كانت قد «اكتُشفت» بشكل مستقل، وتساءلوا: هل تشير هذه الحقيقة المشتركة إلى وجود (عين ـ أصلية) هي آم لكل العيون إذا مارجعنا في الزمن إلى وقت كافٍ؟

إن علماء البيولوجيا الجزيئية يقرون الآن بذلك. وفي عام ١٩٩٥ اكتشف والتر جيرنج Gehring وزملاؤه في جامعة بازل في سويسرا أن هناك «جينا مسيطرا» يتحكم في تطور عين ذبابة الفاكهة أو عدم تطورها على الرغم من أن حوالى ٥ آلاف جين قد تتحكم ـ بشكل مستقل ـ في التطور المحدد لملايين الخلايا في العين. ويدعى هذا الجين الأعمى cyeless gene (لأن غيابه يؤدي إلى عدم وجود عين). وبوضع هذا الجين على أجزاء مختلفة من الذبابة استطاع فريق جيرنج أن يضع مجموعة كاملة من العيون على الأجنحة والأرجل، وحتى على قرن استشعار ذبابة الفاكهة.

ولقد كان لإحدى الذبابات (نتيجة لتجربتهم) أربع عشرة عينا مستقلة على جسمها. لقد كانت هذه النتيجة مثيرة جدا بحيث إن مجلة (العلوم) الرصينة زينت غلافها بذبابات لها عيون منتشرة على كامل أجسادها. وقد تندر تشارلز زوكر من معهد هوارد هيوز في سان دييجو على ذلك قائلا «إن هذا هو أهم بحث في العام الحالي، هذا هو العلم الفرانكشتايني بمعنى الكلمة». لقد وجد جيرنج أن هذا الجين يكرر نفسه خلال مملكة الحيوان في الديدان المفلطحة والفئران وحتى في البشر، ويقول في هذا الصدد «أينما نظرنا فإننا نجده». ويقول راسل فرنالد من جامعة ستانفورد «إن كل هذا يشير إلى عين مشتركة هي أصل العيون.

إن هذا يعني، على مستوى معين، أن الجين (الأعمى) قديم وأساسي لفروع عدة من مملكة الحيوان. إنه يشير إلى أنه ربما كنا كلنا منحدرين من دودة بحرية معينة عاشت منذ ٥٠٠ مليون سنة، وطورت لأول مرة جين العين الأصلي. إن هذا الكائن الحي الذي تطورت لديه أول صبغية لازمة لعمل نموذج ـ عين، ربما نقل جيناته لكل المخلوقات ذات العيون على سطح الأرض. ويمزح زوكر قائلا «إن هذا يعني أننا كلنا في الأساس لسنا سوى ذباب كبير».

ومن جهة أخرى، فإن هذا يعني أيضا أنه من المحتمل أن تكون هناك (جينات مسيطرة) أخرى تقبع في صبغياتنا، وتتحكم في تطوير أعضاء كاملة لأجسامنا. وقد تساءل العلماء مرارا كيف يمكن لـ ١٠٠ ألف جين فقط أن تحتوي كل التعليمات اللازمة لتكوين إنسان. فمن المعقول إذن أن بعض الجينات أكثر أهمية من بعضها الآخر.

لبناء منزل نموذجي ـ على سبيل المثال ـ هناك «مجموعة رئيسية» من التعليمات التي تخبر المرء كيف ينظم الغرف المختلفة والأثاث. وبالمثل تطلق «جينات مسيطرة» آلافا من التعليمات الجينية الأخرى، مثل كيف تبني أعضاء الجسم؟ ومثل تعليمات لملاحظ بناء يقوم بتشييد بيت نموذجي، فإن بعض التعليمات تخبر الجينات كيف ترتب المعالم العامة للبناء، بينما تخبرها تعليمات أخرى كيف ترتب التفاصيل. وعندما نجد المجموعة الرئيسية من التعليمات الجينية، فإن معرفة مخطط كامل الجسم بأعضائه المختلفة سيكون أيسر بكثير.

ماذا يعني هذا كله؟ هناك آلاف الجينات التي تدخل في إنتاج أعضاء مختلفة من الجسم. وببساطة فإن عددها كبير جدا بحيث يتعذر تقفيه. وقد يكون أحد المفاتيح لدراسة تجمعات جينية معقدة بعد عام ٢٠٢٠ هو معرفة هذه «الجينات المسيطرة»، وبعزل هذه الجينات يمكن للعلماء أن يدرسوا كيف تتسبب آلاف الجينات الأخرى ـ بنجاح ـ في تنشيط وتطوير عضو كامل. إن هذا لا يعني أننا سنتمكن في أحد الأيام من نقل عين ذبابة فاكهة إلى كائنات حية أخرى كما في فيلم (الذبابة)، فهذه الجينات المسيطرة تصدر تعليماتها إلى خلايا جنينية غير متخصصة، وليس إلى خلايا بالغة. لقد ثبت مسبقا وجود جينات مسيطرة مماثلة لدى البشر، ومن المنطق لذلك افتراض أن الأجنة البشرية تتطور جينيا بطرق مماثلة لذباب الفاكهة.

وإذا اكتُشفت كل الجينات المسيطرة في الثدييات، فإن هذا سيسرّع بشكل كبير من فهمنا لتفاعل آلاف الجينات بعضها مع بعض، لإنتاج عضو وحيد. ولذا فعندما يتحول التركيز في الفترة بعد ٢٠٥٠ نحو فك شفرة الخصائص متعددة الجينات، والتي تتعلق بآلاف الجينات، فإن «الجينات المسيطرة» قد تكون إحدى الأدوات المهمة لفك شفرة ١٠٠ ألف جين في الجينوم البشري.

«مهندسون رئيسيون» للجسم

إن الاكتشاف المهم الآخر، الذي قد يبسّط ـ في النهاية ـ فهمنا لعمل آلاف الجينات بشكل متسق، يتعلق «بمهندسين رئيسيين» يساعدون في الإشراف على تصميم شكل جسمنا الكلي. ويمكن استنتاج وجود هذه الجينات العامة بتحليل أشكال جسم الحيوان، والتي يشترك معظمها في محور الرأس حتى الذنب، وفي التناظر الثنائي. إن شكل جسمنا الأساسي المكون من الرأس في أحد الطرفين، والجسم في الوسط، والذنب في الطرف الآخر، و وجود أطراف تخرج من الجوانب، و وجود محور تناظر يمتد من الرأس حتى الذنب، يعود إلى مئات الملايين من السنين. وإذا فكرت في الديناصورات والحشرات والحيتان والأرانب والتماسيح...إلخ، فإنك تجد أن لها جميعا التصميم الأساسي نفسه للجسم.

لقد عزل العلماء أخيرا الجينات المسؤولة جزئيا عن شكل أو مخطط الجسم. وتتحكم هذه المجموعة المهمة من الجينات في الطريقة التي تتميز فيها الخلايا الجنينية تدريجيا عن بعضها، إلى الرأس والأذرع والجذع والأقدام. وتساعد هذه الجينات التي تدعى جينات الهيكل الثابت homeobox على التحكم في المخطط العام لهندسة الجسم لمجموعة عريضة من الحيوانات، من الذباب إلى الفئران والبشر (وتدعى هذه الجينات HOM في اللافقاريات وتدعى مماثلتها في الفقاريات بجينات Hox). ولمعظم جينات الهيكل الثابت في ذباب الفاكهة والفئران والبشر ـ وليس كلها ـ ارتباطات خاصة بها على حدة. وفضلا عن ذلك، فإن الترتيب الذي توجد فيه هذه الجينات على طول الصبغي يطابق تماما الترتيب الذي يُوجد فيه الكائن الحي، بدءا من الرأس، مما سهل كثيرا من عملية التعرف على هذه الجينات.

ويشير إمكان تبادل بعض الجينات ـ بكل حرية بين أنواع بعيدة جدا عن بعضها ـ إلى قدم هذه الجينات، وعلى سبيل المثال فإن جينات الـ pax -6,Dcx-1, Hox7, wnt - 7a في الفقاريات مماثلة لجينات (عديم العين وعديم الأطراف وعديم العضلات وعديم الجناح) الموجودة في ذباب الفاكهة، والتي تتحكم ـ على الترتيب ـ في تطور العين والأطراف والعضلات والأجنحة.

لقد ثبت أن جينات الـ HOM هذه تتحكم في هندسة الجسم عن طرق إحداث تحولات في ذباب الفاكهة، وعند تحليل ما يحدث عندما يتحول بعض

جينات HOM، تمكن العلماء من تحديد وظيفة هذه الجينات. وعلى سبيل المثال يمكن أن يسبب تشويه جين قرن الاستشعار استبدال زوج من الأرجل الصدرية بدلا من قرن استشعار ذباب الفاكهة.

لقد بيَّن فريق العلماء في كلية الطب في هارفارد أن تشويها في جينات الهيكل الثابت يمكن أن يسبب تشويها في البشر، يسبب التحام الأصابع وبروز أصابع إضافية. و وجدت مجموعة أخرى بروتين مولد العظام BMP، وهو الإشارة الكيميائية التي تحدد فيما إذا كان الالتحام سيتم أم لا، وبإيقاف الـ BMP استطاع العلماء تحريض دجاجة لإحداث التحامات بين أصابع قدميها مثل البطة، أو ريش على قدميها بدلا من الحراشف. ويعتقد العلماء الآن أن جينات الهيكل هذه تنتج مواد كيماوية مثل BMP، ربما تتحكم في الجينات الأخرى، وتخبرها متى تغلق بعض العمليات أو تفتحها. وقد يخبر هذا بعض الـ BMP بعض الخلايا مثل خلايا الالتحام أن تنتحر، وبالتالي توقف عملية التحام أصابع القدمين.

وقد يكون مثال جينات الهيكل هذه المفتاح للكشف عن سر وضع مخطط الجسم على المستوى الجنيني. إن الحصول على خريطة كاملة لهذه الجينات، والذي من المفترض أن يكون ممكنا في العقد القادم، قد يساعدنا على التقدم وسط أدغال الخصائص متعددة الجينات الكثيفة، والتي يشتمل بعضها على آلاف الجينات، وذلك في فترة ما بعد ٢٠٥٠.

مابعد ٢٠٥٠: ملائكة في أمريكا

لقد رأينا أن فهمنا لانتقال الجينات لا يزال بدائيا. وينقل العلماء ـ عادة ـ قطعا صغيرة من الـ «د. ن. أ» في معظم الحالات من جين واحد ـ من أحد الكائنات الحية ـ إلى الآخر. وقد رأينا صعوبة فهم الخصائص متعددة الجينات (مثل الأيض وشكل الجسم ونمو الشعر والوجه وأعضاء الجسم) على المستوى الجيني، لأنها تشمل بضعة إلى آلاف الجينات. ولكن إذا تمكنا ـ في يوم ما ـ من أن نسيطر على الجينات المسيطرة التي تتحكم في أعضاء كاملة من الجسم، فإن، السؤال التالي يثار بشكل طبيعي: هل ستعطينا هذه المعرفة القدرة على إنتاج (مافوق البشر) أو (بشر متفوق) في المستقبل؟ وربما سنتمكن من عام ٢٠٢٠ وحتى عام ٢٠٥٠ من فك شفرة آلاف الجينات المتعلقة

بتشكيل أعضاء مهمة من الجسم، ومع ذلك لا نستطيع التحكم فيها إلا بعد عدة عقود من ذلك.

ولفهم صعوبة التحكم في الخصائص متعددة الجينات، خذ مثال طيران الإنسان، الذي أثار خيال المتصوفين واللاهوتيين منذ بداية التاريخ. ولقد ظهرت الملائكة في الأساطير الدينية منذ آلاف السنين. ويتطلب إنتاج أناس يستطيعون الطيران السيطرة على آلاف الجينات، التي تتحكم في تطور الجناحين، بحيث تعمل كلها بشكل متزامن لصنع الأنسجة والعظام اللازمين، وهذا الأمر يتجاوز قدرة التكنولوجيا الحيوية الحديثة. وفي النهاية قد يكون من الممكن إنجاز مثل هذه الأعمال المعجزة العظيمة (لقد صنع التطور الطبيعي معجزات أعظم من هذا السحر البيولوجي)، ولكن ذلك قد يتطلب قرونا عدة لإتقان مثل هذه التكنولوجيا.

ولرؤية ذلك، فإننا ندرك ـ أولا ـ أن الجينات المسيطرة لأجنحة الطيور قد تكون بلا فائدة، فالأجنحة مثل عيون ذباب الفاكهة قد يُتحكم فيها فعلا بالجينات المسيطرة. ولكن التجمعات الجينية الملائمة ليست متوافرة إلا لدى الطيور وبعض الحيوانات الطائرة، التي يمكن تنشيطها بواسطة الجينات الرئيسية هذه. ولذا فإن وضع الجين الرئيسي للأجنحة في الإنسان قد لا يفعل شيئا (أوقد يقوم بتنشيط أعضاء مماثلة مثل الذراعين).

ولنتأمل بعد ذلك مجموعة الخطوات الصعبة التي تدخل في خلق حيوان بأجنحة. وعلى الرغم من أن سلسلة جينوم الطيور قد تتم في أوائل القرن الحادي والعشرين، إلا أن تحديد المجموعة الضخمة من الجينات اللازمة للأجنحة قد يستغرق عدة عقود بعد ذلك. كما أن تحديد طريقة عملها بشكل متناسق لإنتاج العظام والعضلات والأوتار والريش وتزويد الدم وجهاز المناعة... إلخ الملائمة لها، قد يستغرق عدة عقود أيضا بعد ذلك.

ثم على المرء ـ بعد ذلك ـ أن يهتم بموضوع الديناميك الهوائي. إن أحد أسباب قدرة الطيور على الطيران هو أن لها عظاما مفرغة، وبما أن للبشر عظاما صلبة وثقيلة، بالمقارنة مع الطيور، فيجب أن يكون امتداد الجناحين كبيرا، وبحسب مبدأ برنولي الذي يحكم الديناميكية الهوائية للطيران، فإن امتداد جناحي الإنسان يجب أن يكون في حدود العشرين قدما أو ما يمكن مقارنته بأجنحة طائرة شراعية. ولكن الطاقة العضلية اللازمة لتحريك أجنحة بهذا الحجم ستتجاوز أي

شيء ممكن بالنسبة لهيكل بشري. وستحتاج مثل هذه الأجنحة إلى إعادة هندسة جسم الإنسان بشكل كبير، لتطوير عضلات ظهرية قوية وعظام أخف، في الوقت نفسه أقوى. ثم هناك مشكلة تثبيت جينات الأجنحة على ظهر الإنسان. وعلى المرء أن يعدل أولا جينات أجنحة الطير لخلق جناح يمتد ٢٠ قدما، ويسبب هذا وحده مشاكل عدة لأن عملية مد جناح طائر لأكثر من عشرة أمثاله تتطلب زيادة تزويد الدم وتمتين العضلات وتقوية العظام، ثم على المرء أن يعدل الجينوم البشري، بحيث يقبل الأجنحة. وقد يكون من السهل إيجاد الموقع بين جينات الهيكل الثابت، حيث يجب حشر جينات الأجنحة. ولكن المشكلة هي أنه يجب تغيير أعضاء جسمنا بشكل جذري، فيجب أن تصبح عضلاتنا أقوى وعظامنا أخف، وأكثر من ذلك، من أجل تثبيت عضلات وعظام ونسيج طائر، والذي يتطلب بدوره - أيضا - آلاف الجينات، تلزمنا عقود من التجريب، وتتضمن تكنولوجيا حقن ميكروية، هي أبعد من التناول على المدى المنظور.

إن النقطة المهمة هنا هي أن النجاح النسبي في خلق حيوانات ونباتات بجينات مخلطة مبني على نقل جينات وحيدة لا يمكن ترجمته على الإطلاق إلى خلق كائنات خرافية لها خصائص متعددة الجينات لحيوانات أخرى، فعملية نقل أعضاء حيوان ما (مثل أجنحة طائر أو زعانف سمكة أو خرطوم فيل) إلى حيوان آخر تتطلب تكنولوجيا ليست متوافرة حتى بعد ٢٠٥٠ بوقت طويل، وربما كان ذلك بعد القرن الحادي والعشرين. وبعبارة أخرى، فإن معظم المخلوقات الباهرة من الأساطير القديمة قد تبقي مجرد أساطير. وربما كانت الكائنات الخرافية الحقيقية فوق متناول التكنولوجيا الحيوية لقرن أو ربما لأكثر، هذا إذا كانت ممكنة على الإطلاق.

ولكن السؤال الملح الذي تثيره هذه المناقشة هو: هل التحكم في الجينوم البشري أخلاقي؟ وإذا كانت هذه هي الحال فضمن أي توجهات؟

في الفصل التالي سنفحص بعض القضايا الأخلاقية والخلقية الحساسة التي تثيرها التكنولوجيا الحيوية، والتي تعد بألا تعطينا الصحة والازدهار فقط، وإنما تتحدى أيضا مبادئنا الأخلاقية، وربما تجبرنا على إعادة تعريف من نكون.

12 جينات عالم جديد وشجاع

«إن أي محاولة لتكييف العالم وتعديل شخصية الإنسان لخلق نموذج مختار من الحياة تتضمن عواقب غير معروفة. إن مصير الإنسانية من المؤكد آن يظل نتيجة لذلك مقامرة، لأن الطبيعة سوف ترد على ذلك في زمن غير متوقع وبطريقة غير منظورة»

رينيه دوبو

سراب الصحة ١٩٥٩

لقد أعطتنا ثورة الـ « د . ن . أ » رؤيتين متمايزتين مذهلتين للمستقبل: الرؤية الأولى التي تسوقها صناعة التكنولوجيا الحيوية، هي صورة الصحة والازدهار: فالمعالجة الجينية ستقضي على الأمراض الوراثية، وربما تعالج السرطان، وستصنع الهندسة الوراثية أدوية جديدة للقضاء على الأمراض المعدية، وسيخلق تزاوج الجينات حيوانات ونباتات جديدة ستقوم بإطعام سكان العالم المتزايدين.

على أن هناك رؤية أكثر سوداوية، يصورها ألدوس هكسلي في كتابه التنبئي المقلق «عالم جديد وشجاع»، والذي كتبه عام ١٩٣٢، بينما كان العالم لا يزال يترنح من آثار الوحشية المتواصلة التي أطلقتها الحرب العالمية الأولى، ومن الفقر المدقع الذي سببه الكساد العظيم. وتدور أحداث الرواية بعد ٦٠٠عام في المستقبل، عندما أقنعت سلسلة مماثلة من الحروب المدمرة زعماء العالم بأن يفرضوا نظاما جديدا بصورة جذرية. لقد قرروا ـ بعد أن تذكروا فوضى الماضي ـ أن

يفرضوا «دولة مثالية» مؤسسة على السعادة والاستقرار، بدلا من مفاهيم ثبت أنها معقدة وغير مستقرة بطبيعتها، مثل الديموقراطية والحرية والعدالة، دولة يكون فيها عدم السعادة انتهاكا لقانون الدولة. ومفتاح هذا الفردوس المفترض من الدولة هو التكنولوجيا الحيوية: فالأطفال يُنتَجون بشكل جماعي في مصانع ضخمة للأجنة، ويستنسخون لينتجوا نظاما طبقيا مكونا من بشر ألفا وبيتا وجاما ودلتا وإبسلون، وبتحديد كمية الأكسجين التي تُعطى للأجنة يستطيع العلماء إحداث عطل انتقائي في الدماغ، واستنساخ جيش من العاملين المطيعين. ويجري التعطيل الدماغي الأكبر على ضعاف العقل من نوع الإبسلون، وهم جماعة تحت مستوى البشر غُسلت أدمغتهم بدقة، بحيث يؤدون الأعمال اليدوية المهينة في المجتمع بكل سرور، أما أرقى طبقة وهي الألفا فهم على العكس تماما قد هُذبوا و رُبوا بعناية: ليصبحوا النخبة الحاكمة. ويتم تأمين السعادة بغسيل مستمر ومخدر للدماغ، وعن طريق التداول السهل للجنس وللأدوية التي تخدر العقل.

لقد روّعت رواية هكسلي الشنيعة العالم، وجرت محاولات عدة لمنعها، ومن المفارقة أن الأحداث التي تلت، تجاوزت حتى خيال هكسلي الخصب، ولقد كتب في الخمسينيات يقول «لقد افترضت أنها ستحدث بعد ٦٠٠ عام في المستقبل، ولكن يبدو الآن أن من الممكن جدا أن يحل بنا هذا الرعب بعد حوالى قرن واحد»، ولكن حتى القرن الواحد يبدو طويلا جدا: فكثير من نبوءاته التكنولوجية أصبح ممكنا منذ فترة.

لقد كانت تنبؤات هكسلي ملهمة بالتأكيد، فلقد كتب روايته في زمن كانت فيه قوانين التطور الجنيني غير معروفة إلى حد كبير، ومع ذلك ففي أقل من ٤٠ سنة ـ بعد ذلك ـ ولدت لويس براون، وهي «أول طفل من أنبوب اختبار».

وتوافر لدى الآباء في الثمانينيات مجال واسع من خيارات الولادة المتاحة تجاريا: فالأجنة يمكن تجميدها، ومن ثم إرجاعها إلى الحياة بعد عدة أعوام، ويمكن للأزواج العقيمين أن يستخدموا أما لحمل أولادهم. ويمكن حتى للجدات أن يلدن أحفادهن (بأخذ البويضة الملقحة من بناتهن و زرعها في أرحامهن). ومع مجيء الثورة البيوجزيئية فقد يصبح العديد من تنبؤاته الأخرى مثل استنساخ البشر والتهجين الانتقائي... إلخ في متناول اليد: ولذا يجب إثارة السؤال: أي مستقبل سنختار؟

سأنظر في هذا الفصل في كيفية تأثير الثورة البيولوجية في المجتمع، سواء للأفضل أم للأسوأ، وستعارض القلة إمكانات هذه الثورة وإنجازاتها الضخمة، ومع ذلك فحتى صانعو الثورة عبروا عن تحفظاتهم حول الوجهة الخلقية والأخلاقية لها، إذا لم يُتحكم في تجاوزاتها. وفي بلد ديموقراطي لا بديل للنقاش الواعي بين مواطنين مثقفين لاتخاذ قرارات ناضجة بشأن تكنولوجيا من القوة بما يسوغ لنا أن نحلم بأنها ستتحكم في الحياة ذاتها.

الطاقة النووية مقابل الثورة الجينية

إن المعرفة العلمية الرهيبة التي سيُكشف عنها في أوائل القرن الحادي والعشرين لا بد من التخفيف من آثارها من خلال القضايا الأخلاقية والاجتماعية والسياسية الكبيرة التي تطرحها. وأحد الأطر الذي تُناقَش ضمنه آثار الثورة البيوجزيئية هو مقارنتها مع الثورة النووية؛ فعلماء البيولوجية الجزيئية مصممون على تجنب الأخطاء التي ارتكبت في أبحاث الطاقة النووية، والتي أجريت أصلا في سرية تامة تحت ستار «الأمن الوطني». وبسبب عدم توافر سوى القليل من النقاش الديموقراطي حول آثار الطاقة النووية، تواجه الولايات المتحدة الآن ١٧ مستودعا للأسلحة النووية يتسرب منها الإشعاع، قد تكلف حتى ٥٠٠ مليون دولار لتنظيفها. أما الثمن الإنساني فلا يمكن تقديره: فلقد أجريت تجارب إشعاعية غير أخلاقية على ٢٠ ألف مواطن، دون علمهم بذلك، منذ الأربعينيات. شملت هذه التجارب حقن البلوتونيوم في عروق مرضى أبرياء، وإطلاق مواد مشعة فوق مناطق مأهولة، وتعريض النساء الحوامل للإشعاع. وبأخذ هذه المقارنة في الحسبان، فقد خصص مؤسسو مشروع الجينوم البشري ٣ في المائة من الميزانية لما دعوه بفرع التأثيرات الأخلاقية والقانونية والاجتماعية الخاص بهذا المشروع. وهذه هي المرة الأولى في التاريخ التي يخصص فيها مشروع حكومي طارئ ولو جزءا من إمكاناته للقضايا الاجتماعية الأوسع نطاقا.

إن إحدى المخاطر التي تخيف المؤيدين والمنتقدين لهذه التكنولوجيا هي تكرار حادث جزيرة ثري مايل، أي حدوث حادث خطير ينجم إلى حد بعيد عن خطأ بشري، أو عيوب في التصميم، أو عن اختبار غير مناسب يمكن له

أن يهدد حياة الملايين ويصيب الصناعة بكاملها بصدمة كبيرة. ولكن هناك فارقا مهما بين الثورة النووية والبيوجزيئية، فمن الممكن، إلى درجة ما، التحكم في انتشار الأسلحة النووية، بسبب عشرات البلايين من الدولارات، اللازمة لتطوير بنية تحتية نووية كبيرة مجهزة بأجهزة تخصيب اليورانيوم، والمفاعلات، وبعلماء نوويين على مستوى رفيع. فلا يستطيع المرء أن يبدأ برنامجا نوويا في قبو منزله. وعلى سبيل المثال، فإن تدفق اليورانيوم المخصب والبلوتونيوم مقيد بإجراءات أمنية مشددة، وهذا هو أحد الأسباب الرئيسية في أن عددا محدودا جدا من الدول تمتلك أسلحة نووية اليوم، فنحن لا نستطيع إعادة الجني إلى القمقم، ولكننا نستطيع الحد من عدد الجان الطلقاء في العالم. إن طبيعة الهندسة البيولوجية مختلفة جذريا؛ فباستثمار مبلغ متواضع بحدود ١٠ آلاف دولار فقط، يمكن لشخص ما إجراء تجارب تكنولوجية حيوية في غرفة معيشته، والبدء بالتحكم في جينوم النباتات والحيوانات. وبعدة ملايين من الدولارات يمكن للمرء أن يؤسس صناعة تكنولوجية حيوية ناشئة. إن تكلفة الاستثمار الأولية المنخفضة والعوائد العالية وإمكان إطعام السكان، هي بعض الأسباب التي جعلت دولة فقيرة مثل كوبا تقرر القفز نحو التكنولوجيا الحيوية.

ولكن هذا يعني أيضا أنه من المستحيل احتواء التكنولوجيا الحيوية؛ فلا يستطيع المرء الحد من تدفق الـ «د ن.أ» فهو موجود في كل مكان. ولأنه من غير الممكن تحريم هذه التكنولوجيا - كليا - فمن الضروري مناقشة وتحديد التكنولوجيات المختلفة، التي يسمح لها أن تزدهر، وتلك التي يجب الحد منها، إما عبر قانون حكومي وإما عن طريق الضغط السياسي والاجتماعي.

انفلات منتجات التكنولوجيا الحيوية

تخشى جين ريزلر من منظمة اتحاد العلماء المهتمين Union of Concerned Scientists من أن عدم توافر البصيرة المناسبة قد يطلق جينا يبدو بريئا إلى مصادر غذائنا، مما قد يسبب أنواعا من الحساسية التي تهدد حياة المستهلك، من دون علمه (وعلى سبيل المثال فقد حقنت جينات الموز، داخل الطماطم، وقد تؤكل هذه الطماطم من قبل أطفال لديهم حساسية

مفرطة ضد الموز، من دون معرفتهم). وتشير ريبيكا جولدبرج، كبيرة العلماء في صندوق حماية البيئة، إلى أن هناك ٥ ملايين إنسان لديهم حساسية لأغذية مفيدة، تتراوح بين النوع الخفيف، حتى الخطير على الحياة، وتستدعي جولدبرج الحالة الحديثة لفول الصويا، الذي هُندس كي يحتوي جينا من جوزة البرازيل. وقد أظهرت تحاليل لاحقة من قبل الشركة أن المنتج يسبب الحساسية، وكان من الممكن أن يتسبب في حدوث صدمة تهدد الحياة، فيما لو طرح إلى الأسواق قبل اتخاذ الاحتياطات اللازمة. ويقلق النقاد أيضا لأن منظمة الأغذية والأدوية تصادق على أغذية جديدة للأسواق الكبيرة من دون اختبار كافٍ، بينما تسمح وزارة الزراعة للشركات أن تجري اختبارات حقلية من دون رخص. وتستنتج جولدبرج«أعتقد أنهم تبنوا فكرة صحيحة ولكنهم مضوا بها إلى أبعد مما يجب».

وتحت ضغط مصالح قطاع الأعمال الزراعي القوي للحد من الإجراءات البيروقراطية، فقد سمحت وزارة الزراعة بالاختبار الحقلي لهذه النباتات بعد تنظيمها. ومنذ عام ١٩٨٧ حتى ١٩٩٥ منحت ٥٠٠ رخصة اختبار حقلي تغطي ٤٠ صنفا جديدا، من قبل وزارة الزراعة، بأقل حد من التبصر (بما في ذلك الشعير والجزر والهندباء (الشيكوريا) وفول الصويا والفستق والفول السوداني والقنبيط والتوت البري وأنواع مختلفة من العليق والبطيخ). وما يقلق جولدبرج هو أن الشركات التي تسوّق المبيدات هي نفسها التي تروّج الآن لنباتات محولة جينيا كي تقاوم بشكل أكبر هذه المبيدات، وهذا ما تعتقد أنه ضرب من المصلحة الذاتية، وستكون النتيجة النهائية هي أن يشتري المزارعون كمية أكبر من المبيدات، لاعتقادهم أن محاصيلهم تتحمل الحمل الزائد، وهذا يعني وجود مبيدات أكثر في غذائنا، و ربما أُنتج جيل جديد من الحشرات المقاومة للمبيدات. وقد يشعل هذا «سباق تسلح» جديدا بين الحشرات والمنتجات المهندسة بيولوجيا، خالقا مجموعة من «الحشرات الفائقة» المقاومة لمستويات مرتفعة من المبيدات، وتاركا أيضا مبيدات أكثر في غذائنا.

ولكن الخوف الرئيسي هو أن نباتات جديدة تماما لم تُرَ من قبل في الطبيعة قد تفلت إلى الحياة البرية، إذا ما فُتحت لها الأبواب، وقد تقوم بإزاحة نباتات محلية وتجتاح النظام البيئي بكامله، وما ينجم عن ذلك من نتائج غير متوقعة. ويقول جيرمي ريفكن من مؤسسة Economic Trends

وأحد النقاد الرئيسيين لثورة التكنولوجيا الحيوية: «إذا ربيت النباتات في العراء، ووصلت الجينات الجديدة إلى الحوض الجيني للحياة البرية، فقد يكون لذلك تأثير مخل في التوازن بالنسبة للنظام البيئي». ويلخص القلق على المحاصيل المخلّطة جينيا بالعبارة: «لا يمكن استرجاع المحاصيل المهندسة بيولوجيا». ويشير العديد من النقاد إلى العواقب غير المتوقعة لأصناف غريبة أدخلت عمدا أو مصادفة إلى بيئات جديدة، كما حدث بالنسبة لبلح البحر المخطط، ومرض الدردار الهولندي، و وباء الكستناء والكودزو. إن التوازن البيئي الدقيق يمكن أن يتأثر بشدة بالأصناف الجديدة.

إحدى هذه الحالات هي حالة النحلة الإفريقية، والتي يشار إليها أحيانا بـ «النحلة القاتلة» من قبل الصحافة، والتي استوردت عمدا إلى البرازيل عام ١٩٥٧، لتحل محل نحلة العسل الأوروبية، التي لم تتأقلم مع طول فترة النهار في هذه المنطقة الاستوائية. وعندما هربت أعداد من نحل الملكة، انتشرت هذه الأصناف العدوانية جدا وخرجت عن السيطرة، وأحدثت ضررا بالغا بصناعة النحل. وعلى نقيض النحلة الأوروبية الألطف، فإن من السهل إثارة النحلة الإفريقية، حيث تهاجم وتجتاح بالآلاف؛ ولقد قتلت ألف شخص وسببت خسائر بملايين الدولارات.

واليوم، فإن النحلة الإفريقية هي صنف النحل المسيطر على مساحة ٢٠ مليون كم^{2} من نصف الكرة الغربي، بما في ذلك الأمريكتين الوسطى والجنوبية بكاملهما. وقد وصل هذا النحل إلى تكساس عام ١٩٩٠، وأريزونا عام ١٩٩٣، ومن المتوقع أن يستعمر معظم جنوب غرب أمريكا، حتى يتوقف بسبب المناخ الأبرد في الشمال، بحدود عام ٢٠٠٠ . ويشكل هذا مثالا مفيدا على قيام الإنسان بتغيير نظام بيئي طبيعي، بإدخاله ـ عن غير قصد ـ نوعا عدوانيا جديدا من الحياة يسبب إزاحة أنواع الحياة المدجنة الألطف.

وبدلا من المبيدات يدافع ربسلر عن رؤية بديلة للمستقبل، تدعى أحيانا «الزراعة المستدامة»، والتي تتضمن استخدام أعداء طبيعيين لبعض الحشرات، للتحكم في أعدادها، والتي يمكن أن تتم من دون مبيدات. وبإجراء توازن للحشرات في الحقل، يمكن للمرء أن يحافظ على أنواع معينة من الحشرات ضمن الحدود، عن طريق استيراد أعدائها الطبيعيين.

«من يمتلك الجينوم؟»

يشير النقاد إلى أن شركات لا رادع أخلاقيا لها، من النوع التي سيطرت في الغرب الأمريكي المتوحش، هي التي تقوم بالكشف عن سر الحياة. وقد أبرزت مجلة (العلوم) هذه القضية بعنوان على غلافها يقول: «من يمتلك الجينوم؟» وقد وصف دانيال كوهين، من مركز دراسة تعدد الأنواع البشرية في باريس، عملية تسجيل براءة الاختراع بأنها «محاولة للحصول على براءة اختراع النجوم... ، إن الحصول على براءة اختراع شيء ما ـ دون معرفة استخدامه ـ يعيق الصناعة ويمكن أن يشكل كارثة».

وقد قاد جيرمي ريفكن عام ١٩٩٦ ائتلافا للاحتجاج على تسجيل براءة اختراع جين يكبح ورم سرطان الثدي BRCA. وقد سجلت شركة ميرياد جينيتك من مدينة سولت ليك ، والتي قام علماؤها عام ١٩٩٤ بعزل الجين، براءة الاختراع، وبدأت في تسويق اختبارات جينية متاحة تجاريا، ولقد دفع الائتلاف بأن تسجيل حقوق الاختراع للجين يؤثر في خصوصية النساء، خاصة إذا وصلت المعلومات إلى أيدي شركات الضمان، وأن تسجيل براءة الاختراع للجينات يحد من التنافس العلمي، ويرفع الأسعار، ويسمح للقطاع الصناعي الخاص بأن يجني أرباحا من بحث ممول من قبل الدولة.

ولكن كولينز يعتقد أن هذه المشكلة الشائكة ستختفي تدريجيا مع الزمن، ويقول في ذلك: «عندما ينتهي العمل في مشروع الجينوم البشري، فإن كل السلاسل ستكون متاحة للجمهور، ولن يستطيع أحد أن يسجل براءة اختراع لسلسلة. وعند تلك المرحلة فإن تسجيل براءة اختراع (إذا كان هناك تسجيل، وأعتقد أنه سيكون هناك تسجيل)، سيكون حول استخدامات السلسلة، مظهرا إمكان استخدام منطقة معينة لصنع منتج يفيد الناس، وربما سيكون هذا للأفضل».

الجينات والخصوصية

يطرح جيمس واطسون السؤال التالي: «هل من المفترض أن يكون لديك حق قانوني لأن تطلب من شخص متهم بالاغتصاب أن يعطي عينة

الـ «د.ن.أ»؟ وهل من المفترض، إذا رشحت نفسك لرئاسة الجمهورية، أن تصرح بتركيب الـ « د. ن. أ » الخاص بك؟ وماذا كان يمكن أن يحدث لو أن إدجار هوفر، المدير القاسي والشرس للـ FBI، امتلك الأنماط الجينية للسياسيين في درج مكتبه؟ لقد هدد هوفر السياسيين لعقود، لأنه كان يمتلك سجلات حول حياتهم الجنسية، وعاداتهم في الشراب. إلى أي مدى سيكون الضغط أكبر إذا عُرف التاريخ الجيني بأكمله لسياسيي واشنطن غير المنضبطين أحيانا.

ما الذي يمنع شخصا من أخذ خصلة شعر من مرشح رئاسي، ثم تحليلها جينيا؟ وعلى سبيل المثال، فإن جون كنيدي لم يكن لينتخب رئيسا لو عرف أن لديه مشكلة طبية خطرة في غدده الكظرية، والتي لم تعرف إلا بعد وفاته. ولقد أظهرت دراسة حديثة من عينات «د. ن. أ» محفوظة، أخذت عام ١٩٦٧ من نائب رئيس جمهورية سابق، هو هوبرت همفري، أنها تحتوي على تحول P53 سرطاني مرتبط مع سرطان المثانة (ولقد مات همفري من السرطان عام ١٩٦٧)، فمع التكنولوجيات الحديثة، ربما شخص على أنه معرض للسرطان قبل انتخابات ١٩٦٨ الرئاسية، مما كان سيخرجه من السباق. ويقول ديفيد سيدرانسكي من جونز هوبكنز، الذي قاد هذ الدراسة «إنها ربما غيرت منحى التاريخ السياسي».

ويتعلق سؤال قريب من هذا بالفحص الإلزامي. ومنذ فترة شُكلت بنوك معلومات الـ «د. ن. أ» في هذا البلد عن طريق اختبار السجناء. ولكن هل من المفترض أن يُسمح للحكومة بأن تجبر الناس على إجراء الفحص رغما عنهم؟ ويعتقد آرثر كابلان من مركز الأخلاقيات البيولوجية أن تكاليف الرعاية الصحية في الولايات المتحدة ستكون مرتفعة جدا بعد ٣٠ عاما من الآن؛ مما قد يغري البعض في الدولة إلى جعل اختبار الأمراض الجينية إلزاميا، وببساطة رفض دفع التكاليف الصحية لطفل كان من الممكن وقايته من مرضه الجيني، فيما لو اختُبر.

ويعتقد كابلان أن الجدل حول اختبار الطفل جينيا سيصبح خلال ١٥ عاما أكثر حدة من الجدل حول الإجهاض الآن. فهل تكون رجلا غير مسؤول لو كان لديك أولاد ولم تقم بفحصهم جينيا؟ وإذا كان الأمر كذلك، هل من المفترض أن تدفع الدولة ثمن هذه اللامسؤولية الجينية؟ ويعتقد أخيرا أن

الأشخاص الذين لديهم أطفال لم يفحصوا جينيا قد يعاملون على أنهم شاذون. وثانيا ماذا يحدث لو أن جينومنا تسرب إلى العلن، إلى رؤسائنا وشركات ضماننا وخطيباتنا، وعلى الأخص بالنسبة لأولئك الذين يمتلكون جينات خطيرة.

لقد اقترنت المجتمعات منذ زمن قديم ببعض أشكال التمييز الجيني؛ ولقد عُذب الأفراد الذين كانت لديهم تشوهات أو أمراض واضحة، ووصفوا بالسحرة (كما في مرض هانتجتون)، وعادة ما كانوا يعزلون عن المجتمع، وحتى أنهم قتلوا، ومع ذلك فإن الشيء الجديد هو أنه من الممكن اليوم انتخاب الأفراد بمرض جيني، حتى لو لم يظهر هذا المرض عليهم على الإطلاق. وقد يحرم شخص قد لا يعاني أبدا مرضا جينيا معينا من التأمين أو العمل، إذا كان لديه احتمال مرتفع للإصابة بمرض جيني.

وتقول نانسي ويكسلر، رئيسة فرع العواقب الأخلاقية والقانونية والاجتماعية لمشروع الجينوم البشري «إن المعلومات الجينية ـ بحد ذاتها ـ لن تؤذي الجمهور؛ فما يؤذي الجمهور هو البنى الاجتماعية والسياسات والتحيزات القائمة، والتي يمكن أن تصطدم بها هذه المعلومات. إننا في حاجة إلى معلومات جينية الآن من أجل أن نوفر خيارات أفضل، بحيث نستطيع أن نحيا حياة أفضل. إننا في حاجة إلى المعالجات المطورة، التي ستتطور في النهاية باستخدام المعلومات الجينية، ولذا فإن الجواب، على ما أعتقد، ليس في إبطاء تقدم العلم، ولكن في أن نحاول ـ بطريقة ما ـ جعل النظام الاجتماعي أكثر قبولا للمعارف الجديدة». وبحسب مكتب تقييم التكنولوجيا المتوقف الآن، وهو أداة التحري السابقة للكونجرس الأمريكي، يُرفض ١٤٦ ألف طلب للتأمين الصحي لأسباب طبية. ولقد ذكر تقرير هذا المكتب: «منذ فترة يسأل المتقدمون لسياسات التأمين أن يقدموا معلومات للمؤمنين المحتملين، تتعلق بحالات جينية مثل فقر الدم المنجلي، ويخشى بعض الخبراء أن تزداد صعوبة الحصول على سياسات تأمين شخصية، عندما تصبح الاختبارات الجينية متاحة».

وقد حددت دراسة حديثة، قامت بها جامعتا هارفارد وستانفورد، ٢٠٠ حالة يُحرم فيها الناس من التأمين، ويُصرفون من أعمالهم، أو يحرمون

من تبني الأطفال بسبب جيناتهم. ولقد أُجيزت ٤ مشاريع قوانين في الكونغرس و٢٠ قانونا في مجالس تشريع الولايات المختلفة، لتحريم التمييز الجيني، وأصدرت ١٤ ولاية ـ حتى الآن ـ قوانين ضد هذا التمييز، و وقع بيل كلينتون عام ١٩٩٦ قانونا يحظر فيه على شركات التأمين أن تفرق بين الناس بناء على «شرط مسبق».

وقد يؤثر التمييز الجيني على فرص زواجك، وبما أن لدى كل إنسان بعض الأمراض الوراثية في جينومه، فإن هذا قد يسبب الفوضى عارمة في طقوس التعارف بين الجنسين. ومنذ فترة هناك خدمات لعقد صلات بين أفراد من الجنسين خاصة العزاب الذين أثبت الفحص خلوهم من الإيدز، وربما سيكون هناك في المستقبل خدمات من هذا النوع للأشخاص الذين يثبت الفحص الطبي خلوهم من أمراض مسببة للموت مثل السرطان. ولكن كولينز يعتقد أن بعض هذه المخاوف من جانب «المصابين بالرهبة الجينية» مبالغ فيها، ويقول في ذلك «إن هذه المخاوف تخف ـ إلى حد ما ـ عندما ندرك أننا جميعا نتحرك بـ ٤ أو ٥ جينات تالفة تماما، وربما بـ٢٠ إلى ٣٠ جينا آخر تالفة جزئيا، ولذا إن كنت تتوقع أن سيأتي شخص يوما ما، ذو جينوم تام؛ ليكون شريك حياتك ، فستبقى عازبا بقية حياتك. إن هذا لن يحدث، ولن تستطيع أنت بالمقابل أن تقدم له عينة جينية كاملة أيضا. فكلنا لدينا عيوب وهذا هو واقع الحال».

هل الجينات هي نحن؟

إن أحد المجالات التي يمكن أن تسبب سوء فهم كبير هو الصلة بين الجينات والسلوك البشري. وبالرغم من أن السلوك البشري يتأثر بالجينات عبر آليات معقدة، إلا أن القول بأن لدينا جينا لهذا السلوك أو ذاك أمر مغالى فيه. ويعتقد كابلان أنه بالنسبة للسنوات الثلاثين أو الأربعين القادمة، فإن العلاقة بين الجينات والسلوك ستكون بمنزلة «قنبلة موقوتة». وبينما يعتقد أن القدرة الحسابية ونماذج الشخصية والمرض العقلي والاكتئاب وانفصام الشخصية والشذوذ الجنسي وإدمان الخمر والسمنة لها كلها جذور جينية، إلا أنه يحذر أنه «من السخف إرجاع

سلوكنا إلى الجينات فقط؛ فمن الواضح أنه حتى التوائم في العائلة الواحدة لا ينشأون ولديهم السلوك ذاته تماما». إن الجينات هي مجرد عنصر واحد ضمن عناصر كثيرة.

ويقول كريستوفر ويلز من جامعة كاليفورنيا في سان دييجو «إن تحديد تسلسل الـ «د. ن. أ» بكامله لن يعني ببساطة أننا تعلمنا كل شئ حول البشر، مثلما أن النظر في تسلسل النوتات في سوناتا لبيتهوفن لن يمكننا من عزفها». وفي المستقبل فإن الباحثين الحقيقيين للجينوم سيكونون أولئك الذين يستطيعون وضع هذه المعلومات موضع التطبيق، و أولئك الذين يقدرون التفاعل الدقيق للجينات مع بعضها ومع البيئة.

لقد ارتُكبت أخطاء عديدة حتى الآن: ففي عام ١٩٩٦ أُعلن، في الصفحة الأولى لمجلة نيويورك تايمز الصفحة الأولى لمجلة نيويورك عن أن الجين D4DR يتحكم «بالبحث عن الجديد». ولكن دراسة مستفيضة أجريت على ٣٢١ شخصا فشلت في إظهار مثل هذه العلاقة.

وهناك إدعاء أكثر قابلية للجدل، لم يثبت بالاختبار، وهو علاقة العنف بالجينات. وقد احتدم الجدل عام ١٩٦٥ نتيجة دراسة وجدت أنه من ١٩٧ مريضا في مستشفى عقلي مشدد الحراسة في اسكتلندا عثر لدى ٣,٥ في المائة منهم على صبغي XYY غير عادي، وقد وصف الذكور بصبغيات XYY بأنهم عنيفون ومتخلفون. وقد لقّبت الصحافة الصبغي y «بالصبغي المجرم». وفي الحقيقة أظهرت دراسات لاحقة أن الذكور بصبغيات XYY أكثر انتشارا مما كان يعتقد سابقا، وأن ٩٦ في المائة منهم يعيشون حياة عادية تماما. ويبدو أن الخصائص الأكثر شيوعا بين ذكور بصبغيات XYY هي الطول وارتفاع معدل الذكاء عن الحد الطبيعي وبعض التلعثم في الكلام.

إن في هذا درسا للمستقبل. فبحلول عام ٢٠٢٠ عندما يصبح تسلسل الـ «د ن. أ» الشخصي متاحا بشكل كبير، ستكون هناك ادعاءات عديدة حول عزل «جين العنف». وبحلول ذلك الوقت سيكون إيجاد علاقة بين نزلاء السجون وأي عدد من الجينات قضية بسيطة. وستُكتشف بالتأكيد جينات تبدو مرتبطة ظاهريا ـ على الأقل ـ بالأفراد العنيفين. وعلى سبيل المثال، ستُكتشف جينات تؤثر في إنتاج الهرمونات الذكرية مثل

التيستوستيرون، والتي يعتقد البعض أنها قد تزيد العنف تحت ظروف معينة. ومع ذلك فإن الادعاء بأن «جين العنف» قد اكُتشف، قد يكون خطأ كبيرا. وعلى الرغم من أنه يمكن بالفعل إيجاد هذه الجينات في جزء بسيط من الأفراد الذين يتسمون بالعنف، فإن الغالبية العظمى منهم قد يرتبط سلوكهم بعوامل لا تتعلق بذلك أبدا (مثل الفقر والعنصرية... إلخ).

ولقد عاد الجدل إلى الظهور مرة أخرى عام ١٩٩٢، عندما كان يتم الاستعداد لعقد مؤتمر ممول من قبل الحكومة حول العنف والجينات، حيث اتهم الأمريكيون من أصول إفريقية المؤتمر بأنه غير متوازن ويعطي الانطباع بأن الجينات هي الخاصة الدافعة للعنف، بدلا من أن تكون واحدة من عدد من العوامل المساهمة في ذلك. لقد قال عالم النفس بيتر بريجين «لو عدت بتفكيرك إلى الوراء، لوجدت أن الحجة السياسية الجينية كانت بأن السود هادئون. وها قد أصبحوا خلال جيل واحد يوسمون بالعنف جينيا». إن هذا ليس علما، إنه مثال على استخدام علم النفس والعلم عامة لمصلحة سياسة اجتماعية عنصرية».

وتتعلق إحدى القضايا المثيرة للجدل حول الجذور الجينية للسلوك، والتي ستستمر لعدة عقود في المستقبل، كأحد أكثر القضايا حساسية في المجتمع الحديث، وهي العلاقة بين العرق مستوى الذكاء. وبصورة عامة يتجنب معظم البيولوجيين الجزيئيين التعليقات المبسطة حول كون الجينات الأساس الوحيد للسلوك البشري، ومع ذلك هناك ميل لدى آخرين، وخاصة أولئك الذين لديهم جدول أعمال سياسي غير معلن، إلى استخدام نتائج البحث الجيني لدعم ادعاءاتهم المبالغ فيها غالبا.

لقد انفجر السؤال حول الـ «د. ن. أ» والجينات والعرق على الصعيد الوطني عام ١٩٩٥، بعد أن أصدر ريتشارد هيرنشتاين وتشارلز موري كتابهما «المنحنى الجرسي»، وقد أشعل هذا بسرعة جدلا وطنيا وفتح جروحا عميقة. إن بعض الحقائق غير قابلة للجدل: فالأمريكيون من أصول أفريقية يحرزون بشكل ثابت درجات أقل بحوالى ١٠ في المائة من الأمريكيين البيض في اختبار مستوى الذكاء. ويسجل الأمريكيون من أصول آسيوية بشكل دائم درجات أعلى بقليل من ذوي الأصول القوقازية. ولكن هل يعني هذا أن الأمريكيين ذوي الأصول الآسيوية أذكى قليلا من

من ذي الأصول القوقازية، والذين هم بدورهم أذكى بـ ١٠ في المائة من الأمريكيين الإفريقيين؟

ويبدو من غير المحتمل ـ من وجهة نظر تطورية ـ أن العرق والذكاء متعلقان أحدهما بالآخر بشكل قوي؛ فلقد بدأت مختلف الأعراق على الأرض في التباعد منذ حوالى ١٠ آلاف سنة في أمواج هجرة من إفريقيا، بعد فترة طويلة دامت ملايين السنين من تطوير البشر لعقولهم الكبيرة. لذا فإن الأعراق في العالم ظاهرة جديدة نسبيا، بينما الذكاء البشري ظاهرة أقدم بكثير (علاوة على ذلك يظهر تحليل للـ « د . ن. أ » بوضوح أن الاختلافات الجينية الأعظم لا توجد بين العروق، ولكن ضمن العرق ذاته، ولذا فإن المسافة الجينية بين ريتشارد هيرنشتاين ونيلسون مانديلا ـ على سبيل المثال ـ قد تكون مبدئيا أصغر بكثير من الاختلاف الجيني بين هيرنشتاين وموري).

ويعتقد كابلان ـ مؤيدا بذلك تعليقات علماء عديدين آخرين ـ أن الذكاء في الواقع متعدد الأبعاد، ويشتمل على أوجه عديدة مهملة كليا باختبارات الذكاء. ويستنتج: «إن فكرة المنحنى الجرسي خرقاء تماما، فعلماء النفس والجينات يعلمون أن الذكاء خاصة معقدة جدا تدخل في تكوينها عوامل عديدة مختلفة. وكلنا يعرف أشخاصا يستطيعون الحساب جيدا، ولكنهم لا يستطيعون التفاعل اجتماعيا مع الآخرين أو أشخاصا يختارون طريقهم في أحد الأحياء بشكل جيد، وآخرين يبدو أنهم لا يستطيعون تحديد موقع الباب في منازلهم. إن أشياء كثيرة مختلفة تساهم في الذكاء، ولا يعكس المنحنى الجرسي أيا من هذه الأشياء».

إن هذا أحد الدروس التي يتعين علينا أن نستفيد منها في المستقبل. ولقد لاحظ المعلقون أن قضية العرق ومعدل الذكاء تطفو على السطح عادة خلال الفترة التي يمر بها المجتمع بضائقة اقتصادية. وحتما ستكون هناك، بسبب الدورة الاقتصادية، فترات عديدة في القرن الحادي والعشرين ينحدر الاقتصاد فيها إلى الركود، وسيجد الغوغائيون، الذين يبحثون عن مبررات، آذانا صاغية من بين الملايين الذين سيخسرون أعمالهم. وفي التاريخ الأمريكي، تلقى النظريات العنصرية للذكاء عادة شعبية ورواجا، خلال أيام الأزمات الاقتصادية، عندما يشعر الناس بأنهم

مهددون بموجات جديدة من المهاجرين. في عام ١٩٢٣، نشر كارل بريجهام، على سبيل المثال، «دراسة للذكاء الأمريكي»، مستخدما اختبارات الذكاء؛ ليبرهن على أن «عروق» البحر المتوسط والألب أقل شأنا من «العرق» الشمالي، وأن الإفريقيين أقل شأنا من الاثنين. وقد حرض هذا على حظر دخول أناس من جنوب وشرق أوروبا، وعلى الأخص الإيطاليون واليهود، إلى الولايات المتحدة الأمريكية. وقال أحد رجال الكونغرس: «إن السبب الرئيسي لتحديد تدفق الأجانب، هو الحاجة إلى تنقية دم أمريكا وإبقائه نقيا». كما أعلن الرئيس كالفين كولدج، الذي وقّع قانون الهجرة، والذي فرض قيودا على بعض القوميات عن ذلك بقوله: «تظهر القوانين البيولوجية، أن العنصر الشمالي يتدهور عندما يختلط بعناصر أخرى».

بعد عام ٢٠٢٠: التحكم في خطنا السلالي التناسلي

من المحتمل أن تثار بعد عام ٢٠٢٠ قضايا أخلاقية جديدة. فالمعالجة الجينية التي ناقشتها في الفصل الثامن، تعتمد على التحكم في جينات الخلايا الجسدية، وبالتالي لايمكن نقل الجينات الحديثة إلى الأجيال التالية. فالجينات الجديدة تموت عندما يموت المريض في النهاية. ولكن معالجة الخط السلالي التناسلي germ line therapy يمكن أن تغير جينوم خلايانا الجنسية، بحيث يمكن نقل الجين الجديد - بشكل دائم إلى أحفادنا. وكما في حالة الفئران المخلَّطة الجينات، فإن حقن الأجنة البشرية بكميات صغيرة، من أجل تغيير الموروث الجيني للمريض بشكل دائم، يمكن أن يحذف، على سبيل المثال، مرض تليف البنكرياس الحوصلي من عائلة ما إلى الأبد.

وعلى الرغم من أن فكرة إنهاء الأمراض الجينية من الخط السلالي التناسلي لشخص ما فكرة مغرية، فإن هناك إمكانات ضخمة لإساءة استخدام معالجة الخط السلالي التناسلي، وإلى حد كبير، فإن المجتمع العلمي ضد فكرة هذه المعالجة. وقد ذكرت هيئة البحوث الأوروبية عام ١٩٨٨ بصراحة أنه «يجب عدم التفكير في المعالجة الجينية للخط السلالي التناسلي»، ومع ذلك، هناك عدد من العلماء المخالفين لهذا

الرأي، هل سيختار الآباء المعالجة الجينية للخط السلالي التناسلي إذا أصبح متاحا، بحيث يختارون طول أطفالهم، وجنسهم، وقوتهم ولون شعرهم وعيونهم؟

ويدّعي آرثر كابلان أن الجواب هو: «نعم! بكل تأكيد! هل تمزح؟» وهناك أدلة كثيرة على أن بعض العائلات ستدفع بسهولة لإجراء هذا الشيء، إذا منحت الفرصة لذلك. ويحاول الآباء منذ زمن إعادة تشكيل أبنائهم بمئات الطرق، مثل إعطائهم دروسا في البيانو واللغات والرياضة... إلخ، ويقول كابلان في ذلك «أعتقد أن العديد من الآباء، من دون أي شك، سيودون استخدام المعلومات الجينية لتصميم أبنائهم».

ولكن هل هذا شيء جيد؟ إن السؤال هو: ماذا سيكون دور الأطباء؟ هل سيكونون مجرد مقدمي خدمة مطلوب منهم أن ينفّذوا ببساطة رغبات المستهلك؟ أم هل نريد منهم أن يكونوا واعظين وحراسا للأخلاق، يحددون أشكال المعالجة غير الأخلاقية؟ ويتوقع كابلان أن يشكل هذا الموضوع «جدلا أخلاقيا». ومع ذلك، فإن تحريم مثل هذه المعالجة، يمكن أن يخلق سوقا سوداء نشطة في معالجة الخط السلالي، وعلى الأخص في دول العالم الثالث. إن مجرد اختبار بسيط، مثل تحديد جنس الجنين، يسبّب هزة ديموغرافية كبيرة. ويعلن فرانسيس كولينز: «إن استخدام هذه التكنولوجيا لانتقاء جنس المولود، يشكل إهانة للدوافع التي قادتني إلى أن أدرس علم الجينات في المقام الأول. إن الجنس ليس مرضا ولكنه خاصة».

هل سيطلب الآباء، على سبيل المثال، أن يحصلوا على أبناء ذكور وطوال القامة وأقوياء وجذابين؟ لسوء الحظ، فإن الجواب، في العديد من الدول وفي كثير من العائلات، هو نعم، فقوانين التطور، تملي بأن الحيوانات تحاول أن تعطي كل ميزة جينية ممكنة إلى أطفالها التي لم تولد، ولا يختلف البشر عن ذلك، وبشكل شعوري أو لا شعوري، نريد أن تكون لأطفالنا انطلاقة متقدمة في بداية حياتهم.

وتبدو فكرة اللعب بالأطفال غير المولودين إحدى الطرق للخروج من الفقر بالنسبة للعائلات الفقيرة في العالم الثالث، وحتى قبل أن يصبح التعديل الجيني حقيقة في القرن الحادي والعشرين، فإن إدخال أداة بسيطة مثل

جهاز المسح بالأمواج الصوتية، خلق تحولات، ديموجرافيا، كبيرة في الصين والهند ذات آثار خطيرة في الجيل القادم.

وفي مناطق واسعة من العالم النامي، تفضل عائلات الفلاحين الأطفال الذكور بشكل كبير، فالأطفال الذكور لايحملون اسم العائلة ويتمتعون بعدد من المزايا الإقطاعية فحسب، ولكن على أهالي الإناث أن يدفعوا مهرا غاليا لتزويجهن، مما يسبب استنزافا لأموال العائلة الفقيرة. وبحسب دراسة قامت بها (مونيكا داس جوبتا) من جامعة هارفارد، فُقدت مليون أنثى بين ١٩٨١و ١٩٩١ بسبب الإجهاض الانتقائي، عندما أُدخل الماسح الصوتي، وقد «اختفت» ببساطة ٤ ملايين أنثى أخرى خلال السنوات ٤ ـ ٦ من أعمارهن، وبعبارة أخرى، فقد اختفى ٣,٦ في المائة من الإناث في هذه السن.

لقد كان لسياسة الصين المتمثلة في طفل واحد لكل عائلة، والتي أخضعت في النهاية انفجارها السكاني للتحكم، تأثير جانبي غير مقصود، وهو تبني الأطفال الإناث، وقد أظهرت تقديرات غير رسمية للسكان الإناث الصغار، في المناطق الريفية، أن حوالى ١٠ ملايين طفلة «مفقودات». وعلى الشاطئ الجنوبي من الصين، فإن نسبة الجنسين العادية، والتي هي ١٠٠ أنثى لكل ١٠٣ أطفال ذكور مولودين ضاقت عام ١٩٩٥، بحيث أصبحت ١٠٠ أنثى لكل ١١٥,٤ ذكر.

وإذا استطاع إدخال جهاز المسح الصوتي البسيط أن يطلق هذا الكابوس الديموجرافي، فيمكنك أن تتخيل الانقلاب الاجتماعي، الذي يمكن أن ينجم عن القدرة على التحكم، جينيا، في أحفادنا. ولإعطاء مثل بسيط، في حالة هرمون النمو البشري المصمم جينيا HGH، الذي لا ينبغي وضعه إلا لأطفال يعانون من قصور في النمو أو من خلل كبدي مزمن: فقد وجدت دراسة حديثة العهد أن ٦٠ في المائة من الأطفال الذين يتلقون هذا الهرمون، ليسوا مؤهلين لأخذه. ومن الواضح أن الآباء القلقين المهتمين بطول قامة أولادهم، ضغطوا على الأطباء لإعطائهم هذا الهرمون، حتى ولو كانت كلفة المعالجة به تصل إلى ١٦ ألف دولار في السنة.

من المحتَّم أن العلم في القرن الحادي والعشرين، سيتطلب إصدار قوانين محددة، تحظر التلاعب « بالجينوم البشري »، وبالتأكيد بالخط السلالي

البشري. ويري البعض أن أوجه التلف الجيني، التي سببت آلاما مبرحة لأجيال عدة، يجب حذفها من الخط السلالي إلى الأبد. في حين يرد البعض الآخر على ذلك بقانون التأثيرات الجانبية غير المقصودة، وهو أن لعب دور الإله سيسبب، عن غير قصد، ألما أكبر فيما بعد. إن السؤال الذي سيسيطر على المعارك الأخلاقية في القرن الحادي والعشرين، هو بالتحديد: أين يجب رسم هذا الخط الفاصل الدقيق؟ ويعتقد الكثير من العلماء، أنه يجب تحريم التحكم الجيني في خطنا السلالي لأسباب تجميلية بحتة؛ لأن هذا يعتبر تطبيقا بخسا وربما خطرا، لتكنولوجيا قوية. ومع ذلك، إذا أمكن إثبات أن أمراضا، مثل مرض هانتجتون، لا تخدم أي غرض عملي، فإن هناك حجة قوية مكافئة، يمكن طرحها لإزاحتها إلى الأبد من خطنا السلالي. وقد لا يكون هناك جواب محدد، لهذا السؤال؛ لأن أفكار الناس والتطورات العلمية تتغير خلال عقود. ومع ذلك، فبما أن الأخطاء الكيميائية العشوائية، والأشعة الكونية والتلوث الكيميائي، والنظام الغذائي الفقير، والتعديات البيئية الأخرى، تحدث بشكل مستمر تحولات جديدة في جينومنا، فإن هذا السؤال سيظل يلح علينا لقرون قادمة.

استنساخ البشر

من المتوقع أن تبقى بعض التنبؤات التي تضمنها «عالم جديد وشجاع» لهكسلي قائمة في المستقبل البعيد. وفي الوقت الحالي، من المستحيل إنضاج بيضة ملقحة بالكامل في أنبوب اختبار، ولذا فإن نبوءة هكسلي بأن عملية الولادة قد تستبدل بمصانع أجنة ضخمة، بعيدة تماما عن متناول التكنولوجيا. وربما ستبقى إعادة إنتاج البيئة الكيميائية المعقدة والدقيقة، التي توجد في الرحم، واللازمة لإنتاج نطفة بشرية لـ ٩ أشهر، غير متوافرة لعقود عدة.

إلا أن استنساخ البشر، مع ذلك، يقع بوضوح ضمن الممكن الآن؛ لقد أثار الإعلان المدهش من قبل إيان ويلمت، حول الاستنساخ الناجح لنعجة بالغة، أسئلة اجتماعية وأخلاقية كبيرة. ويعتقد الكثير من البيولوجيين الآن، أن العوائق القانونية والتكنولوجية هي فقط التي تمنع من استنساخ

البشر. إن عواقب استنساخ البشر ضخمة، وتتراوح من السخيفة والإنسانية إلى الخيالية:

- يمكن استنساخ رياضيين شهيرين من رياضات مختلفة، وحتى من عقود مختلفة لخلق «فريق أحلام» رائع.

- قد يمنح الأغنياء والملوك المسنون، الذين لم ينجبوا أطفالا، ثرواتهم وعروشهم إلى المستنسخين منهم.

- قد يرغب الآباء في استنساخ طفل مات من مرض مميت أو في حادث.

- قد تُسرق خلايا من شخصيات مشهورة ولامعة، ثم تُباع لأناس يريدون هذه الشخصيات أطفالا لهم.

- قد تتم الإغارة على قبور المشاهير، للحصول على عينات من الـ «د. ن. أ» يمكن استنساخها.

- قد يصنّع الدكتاتوريون جيوشا من العبيد، أو الجنود المستنسخين بقوة جسدية هائلة، ولكن بقدرة عقلية محدودة، أو هجينا بشريا يشبه الكوابيس في «جزيرة الدكتور مورو».

إن الإمكانات الأخرى، مثل استنساخ البشر لإنجاز الواجبات الحقيرة غير المرغوبة، واللازمة للمجتمع، كما جاء في عالم جديد وشجاع، ليست أفكارا خيالية بعيدة، لأن المجتمعات الصناعية تقوم، منذ فترة، باستيراد العمالة المهاجرة الرخيصة لأداء هذه الواجبات. لقد تكهّن البعض بمجتمع أسطوري مبني بأكمله على أشخاص مستنسخين، حيث يكون الذكور فيه فائضين عن الحاجة، فعملية الولادة العذرية، حيث تنتج الأنثى أطفالا من دون ذكر يمكن أن تصبح الطريقة السائدة للتكاثر البشري ، (من المحتمل أن يكون مثل هذا المجتمع غير مستقر؛ لأن أحد الأغراض التطورية للجنس هو تأكيد التنوع الجيني والضروري للبقاء في بيئة تتغير بشكل مستمر).

وسيكون هناك بالتأكيد طلب على هذه التكنولوجيا سواء أكانت قانونية أم لا. وإذا كان بعض الآباء يتشوقون إلى «قطعة من البناء القديم»، فلماذا يقبلون بأي شيء أقل من النسخة الكاملة. ويرى البعض أن الاستنساخ يحقق رغبة متأصلة في الخلود، و ربما كان البحث عن الخلود، هو الذي قاد فراعنة مصر لبناء الأهرامات، والملوك المحتضرين لبناء القبور الفخمة. إن الاستنساخ يقدم نوعا من الخلود أرخص بكثير من تلك الأساليب.

ويثير الاستنساخ أيضا أنواعا من أسئلة أخرى لا حل لها. لقد تناقش اللاهوتيون فيما إذا كان لشخص مستنسخ «روح». فإذا أمكن استنساخ البشر من دون حدود، فما الذي يحدد شخصياتهم وهويتهم؟ لقد تساءل علماء الأخلاق عما إذا كان من الصائب، أخلاقيا، فرض رغباتنا الجينية الخاصة على أجيالنا، التي لا تملك أي رأي في هذه القضية. ولقد انزعج الأخلاقيون من فكرة التضحية بمئات الأجنة، من أجل الحصول على مستنسخ ناجح واحد. وقد سأل المحامون ما الحقوق الشرعية والقانونية للمستنسخين؟ هل يمكن لهم أن يتحملوا ديون من سبقهم، وأن يحصلوا على امتيازاتهم وحقوقهم القانونية؟ وإذ اُأنتج المستنسخون من أجل «قطف» أعضائهم فقط، فما الذي سيحدث عندما يرفضون التضحية بها؟

إن بعض الأمور واضح، فليست هناك ضمانة في أن ينتج استنساخ شخصيات معروفة بالضرورة أجيالا عظيمة مماثلة، ففي فيلم «الأطفال من البرازيل»، على سبيل المثال، يستنسخ النازيون الجدد نسخا فتية من هتلر، من أجل إعادة بناء الرايخ الثالث، ومع ذلك يحاجج عدد من المؤرخين في أن الانهيار الاقتصادي للطبقات الألمانية الوسطى في الثلاثينيات، هو الذي هيأ الجو لبروز هتلر. ومن النادر أن تُخلق حركة سياسية أو اجتماعية من قبل شخص واحد؛ ولذا فإن استنساخ هتلر قد لا يؤدي إلى أكثر من إنتاج فنان من الدرجة الثانية. وبالمثل فإن استنساخ أينشتَين لا يضمن ولادة فيزيائي عظيم؛ لأن أينشتين عاش في زمن كانت فيه الفيزياء في أزمة عميقة. ولقد حُلّت اليوم العديد من المسائل العظيمة في الفيزياء، وربما كان الأفراد العظام نتاج مصادفة وعبث كبيرين بمقدار ما هم نتاج جينات ملائمة. وقد يجرم الاستنساخ في معظم الدول، فحتى قبل إعلان ويلمت، أصدرت المملكة المتحدة قانون الجنين البشري، الذي يُحرّم التجريب على الأجنة البشرية، وقيد الرئيس بيل كلينتون التمويل الفيدرالي لبحوث الأجنة البشرية، وفي العام ١٩٩٧ أوصت لجنة فيدرالية، عينت من قبل الرئيس كلينتون، بإصدار تشريع للحد من البحث الخاص والعام في هذا المجال، لمدة ٣ سنوات على الأقل.

ومن المفارقة أنه ما لم تحدث مشكلة تكنولوجية غير متوقعة، فمن المحتمل أن يصبح الاستنساخ البشري، قريبا، حقيقة من حقائق الحياة. فالقوانين التي تحرم الاستنساخ، ستشجع ببساطة بحث الاستنساخ في معامل القطاع الخاص والمختبرات الأجنبية والسرية، التي ستتمكن من الاستمرار في هذا الخط من البحوث، لأن تكاليف البدء فيه منخفضة جدا والحوافز الاقتصادية الناتجة عنه مغرية جدا، وبسبب قوانين السوق يتوقع البعض نشوء سوق سوداء صغيرة، ولكنها نشطة، مبنية على الاستنساخ. ويقول عالم البيولوجيا والأخلاق دانييل كالاهان من مركز هيستينج في برايركليف مانور «لا أرى الآن سبيلا لوقف هذه الأمور، إننا الآن تحت رحمة هذه التطورات التكنولوجية. ذلك أنها ما إن توجد، حتى يصبح من الصعب إعادتها إلى الوراء».

وإذا أخذنا الطلب على الاستنساخ في المستقبل بعين الاعتبار، فمن المحتمل أن يصبح جزء بسيط من المجتمع من المستنسخين، وقد يتعلم المجتمع أخيرا أن يقبل بوجود أعداد صغيرة من المستنسخين بالطريقة ذاتها، التي قبل بها، منذ مدة، وجود أطفال من أنابيب الاختبار، وأمهات بديلات، وخيارات الولادة غير التقليدية الأخرى.

وبالرغم من كل الجدل الذي يولّده الاستنساخ، إلا أن التأثير الاجتماعي النهائي لهؤلاء المستنسخين قد يكون في النهاية ضئيلا، وسيتعلم الناس أن المستنسخين القلائل الموجودين في المجتمع، قد لا يشكلون أي تهديد له، فنحن بعد كل شيء، نعيش بالفعل في عالم فيه توائم، ولكن الاحتمال الأبشع، هو أن الاستنساخ قد يحيي، من جديد، حركة (تحسين النسل).

حركة تحسين النسل

ننسى أحيانا أن لحركة تحسين النسل تاريخا طويلا غير محمود في الولايات المتحدة، وأن لها جذورا عميقة في حضارتنا؛ لقد كان فرانسيس جالتون، مؤسس الحركة ومبشرها الأول، ابن عم لتشارلز داروين، وبإلهام من عمل داروين، قضى جالتون عدة عقود يدرس شجرات العائلة، لكتاب

وعلماء وفلاسفة وفنانين وسياسيين مرموقين، ووصل إلى قناعة بأن إمكاناتهم العظيمة، انتقلت إليهم عبر الأجيال (ولأنه انحدر من عائلة غنية، فقد غفل جالتون في الظاهر عن التأثيرات البيئية، ولم يستطع الاعتراف بأن الناس الفقراء، نادرا ما ينتجون سياسيين عظماء، لأنهم ينفقون معظم وقتهم في محاولتهم البقاء على قيد الحياة). وقد استنتج، أنه «من المحبذ إنتاج عنصر موهوب من الرجال بزيجات حكيمة مدروسة، خلال عدة أجيال متعاقبة»، وفي عام ١٨٨٣ صاغ كلمة «تحسين النسل» من اليونانية لتعني «الممنوحين بالوراثة خصائص نبيلة». وقد أجريت محاولات لتوليد وتهجين «العرق الفاضل؟»، وفي عام ١٨٨٦ اختارت إليزابيث نيتشه، أخت الفيلسوف المعروف، مجموعة من الأفراد ذوي الدم النقي، وأبحرت بهم إلى باراجواي، لتخلق (ألمانيا الجديدة).

ووفقا لما ذكره عالم الجينات ستيف جونز: «فإن سكان ألمانيا الجديدة اليوم فقراء، وبدائيون، ومرضى، لقد فشل مشروع مدينتهم الفاضلة». لقد كان تشارلز ديفنبورت، الأستاذ في جامعة شيكاغو، أحد تلامذة أو مريدي جالتون، وقد استخدم نفوذه لانشاء مؤسسة رئيسية في ميناء كولد سبرنج بلونج أيلاند، ليجمع قواعد بيانات ضخمة عن التواريخ العائلية الوراثية. وقد ساعد كتابه المشهور «الوراثة وعلاقتها بحركة تحسين النسل» على إلهام الحركة في الولايات المتحدة، في كتابه هذا لم يدعُ إلى التهجين الانتقائي لتطوير الصفات العقلية، التي توجد بين الفنانين والموسيقيين والعلماء... إلخ فحسب، ولكنه قال أيضا إنه قد يكون من الضروري استخدام طرق إجبارية للتخلص من غير المرغوبين، الذين يمتلكون خصائص غير مطلوبة، وقد كتب في ذلك: «على المجتمع أن يحمي نفسه، فكما يدّعي مجتمع لنفسه الحق في حرمان القاتل من حياته، يمكنه أيضا أن يعدم الشيطان الكريه للبروتوبلازما الخبيثة التي لا أمل فيها».

وفي عام ١٩٢٧ أعطي هذا الأمر صيغة قانونية، عندما أقرت المحكمة العليا في الولايات المتحدة شرعية التعقيم في قضية باك ضد بيل، المتعلقة بلائحة التعقيم في فيرجينيا. ولقد كتب القاضي أوليفر ويندل هولمز «من الأفضل للعالم كله، بدلا من الانتظار للاقتصاص من مولود منحل، بسبب ارتكابه جريمة، أو تركه يجوع بسبب العجز، أن يتمكن المجتمع من منع غير

الصالحين للبقاء بشكل واضح، من الاستمرار في التناسل. إن المبدأ الذي يدعم التلقيح الإلزامي واسع بما يكفي، ليشمل عملية قطع قناة فالوب (التي تصل بين المبيض والرحم). وبحلول عام ١٩٣٢ أصدرت ٢٤ ولاية قوانين تسمح بتعقيم شرائح واسعة من «غير المرغوبين»، اشتملت على المجرمين ومرضى الصرع والمجانين والمتخلفين عقليا. وبحلول عام ١٩٤١ عُقّم حوالى ٣٦ ألف شخص في الولايات المتحدة.

لقد عبر النازيون عن شكرهم العميق لحركة (تحسين النسل) في الولايات المتحدة، التي مثلت أحد مصادر الإلهام بالنسبة لأفكارهم، وقد ضمنت مفاهيم حركة تحسين النسل كجزء من العقيدة النازية القائمة على تهجين «الجنس السيد» الآري. وفي نهاية المطاف، ألقي القبض على الملايين، وألقوا في المعسكرات، أو أدخلوا أفران الغاز، كضحايا للأفكار النظرية المجردة، التي اقترحها أصحاب حركة تحسين النسل. ولايزال العديد من هذه الأفكار متغلغلا في الولايات المتحدة، ففي الثمانينيات دعا الفيزيائي وليام شوكلي، حائز جائزة نوبل، والمشارك في اختراع الترانزستور، الحاصلين على جوائز نوبل إلى المساهمة في بنك للنطف، ويمكن لأي أنثى مؤهلة، أن تؤدي بعد ذلك مهمتها تجاه الإنسانية، في تحسين الجنس البشري، عن طريق تلقيحها من بنك نطف «العباقرة».

إن إحدى المخاطر على المدى البعيد، هو أن الأغنياء سيتمكنون من تحسين خطهم السلالي، بينما لا يستطيع الآخرون ذلك، مما يترك بقية المجتمع في المؤخرة، ويخلق نظاما بيولوجيا جديدا للطبقات. ويقول غريجوري كافكا، أستاذ الفلسفة بجامعة كاليفورنيا في إرفين: «إن أي حركة كهذه تهدف إلى التطوير الجيني، يمكنها إرساء عدم المساواة الاجتماعية مجددا، على الرغم من أن ذلك سيتم على أسس جديدة، وقد تختفي الأرستقراطيات القديمة حسب المولد أو اللون أو الجنس، لتستبدل بأرستقراطية جينية جديدة أو «بطبقية جينية». إن التصدعات العميقة في المجتمع، يمكن أن تتسع لتصبح هوة عميقة، إذا توافر للأغنياء فقط إمكان اختيار خطهم الوراثي (لأن هذا يخلق في النهاية مجتمعا مخيفا من طبقتين، مثل المجتمع الذي صوره ويلز في كتابه «آلة الزمن»، عندما عمل

المورلوك بمشقة بآلاتهم في كهوف تحت الأرض، بينما كان الإيلوس الشبيهون بالأطفال، يرقصون ويمرحون فوق سطح الأرض). وعلى المجتمع، في المستقبل، أن يكون حذرا من أولئك الذين سيستخدمون مزايا الثورة الجينية، من أجل دفع أفكارهم الاجتماعية قدما إلى الأمام.

الحرب البيولوجية

ولكن ربما كان الخوف الأعظم المتعلق بالتكنولوجيا الحيوية، ناجما عن إساءة استخدامها بشكل متعمد، وخاصة في الحروب. ولسوء الحظ، فإن للحرب البيولوجية تاريخا طويلا مشوها، وعندما يكون بقاء الأمم على المحك، فإنها تلجأ غالبا إلى أكثر الأسلحة ـ الواقعة تحت تصرفها ـ فتكا، بما في ذلك الأسلحة البيولوجية. لقد وجد أحد أقدم السجلات عن استخدام الحرب البيولوجية عام ٢٠٠ ق. م، عندما أقدم سولون، من أثينا، على تلويث إمدادات المياه إلى مدينة (كيراه) بنبات الخريق السام، وخلال القرن الرابع عشر، رمى التتار أجساد ضحايا الوباء من فوق جدران بلدة كافا في منطقة القرم، من أجل إحداث وباء فيها، وفي القرن الثامن عشر أعطى جنود بريطانيون وعملاء لحكومة الولايات المتحدة أغطية موبوءة بالجدري للسكان المحليين في أمريكا، مما سارع في القضاء عليهم وإبادتهم. وخلال الحرب العالمية الأولى استخدم حوالى ١٠٠ ألف طن من الغازات السامة (الكلور والفوسجين وغاز الخردل)، لقتل ١٠٠ ألف جندي وإلحاق أضرار بـ١,٣ مليون آخرين. وخلال الحرب العالمية الثانية قتل النازيون، بأفران الغاز، ملايين اليهود والروس والغجر والعناصر الأخرى غير المرغوب فيها، وأجرى اليابانيون تجارب حربية جرثومية مخيفة على أسرى الحرب (وحتى بريطانيا والولايات المتحدة كانتا لديهما خطط لم توضع موضع التنفيذ، لاستخدام مرض الجمرة كسلاح مخزن ضمن قنابل بوزن ٢٠٠ كج، أو إلقائه لإصابة قطعان حيوانات العدو بعدوى هذا المرض. وفي مارس عام ١٩٩٥، أطلق بوذي من مذهب متطرف في اليابان غاز الأعصاب (السارين) في شبكة الأنفاق في طوكيو، قاتلا بذلك ١٢ شخصا، وملحقا الأضرار بنحو ٥٥٠٠ شخص آخرين. الشيء الوحيد الذي منع

موت عشرات الآلاف، هو أن المزيج لم يكن نقيا. (مثل مركبات الأعصاب الأخرى، فإن غاز السارين الذي طوره الألمان في الثلاثينيات يبطل مفعول مادة استيل كولينستراسي الكيميائية الضرورية لنقل نبضات الأعصاب). وهناك دليل على أن هذه الطائفة حاولت الحصول على عينات من فيروس إيبولا أيضا. وربما ينجم الخوف الأعظم عن إطلاق عرضي لفيروس لايمكن علاجه من أحد مراكز الحرب البيولوجية (مثل قلعة ديتريك خارج واشنطن)، مما يهدد وجود الجنس البشري ذاته. ويمكن لفيروس متحول من الـ HIV أو الإيبولا، الذي ينتقل عن طريق الهواء، أن يعدي معظم الكرة الأرضية خلال أسابيع أو أشهر.

ولقد عبر كارل جونسون عن المخاوف الكبيرة لدى بعض العلماء عندما قال: «إنني قلق بشأن هذا البحث على الجراثيم الفتاكة، إنها مسألة أشهر أو سنوات على الأكثر، قبل أن يكتشف الناس الجينات المسؤولة عن تفشي الإنفلونزا والإيبولا واللاسا وغير ذلك، وأسلوب انتقالها عبر الهواء، وبعد ذلك فإن أي مهووس يمتلك أجهزة ببضعة آلاف من الدولارات، وبتعليم ثانوي في البيولوجيا، يمكنه أن يصنع حشرات تجعل الإيبولا تتفشى دون عائق وبسهولة تامة». إن مثل هذا السيناريو المتشائم لايمكن تجاهله أبدا. ولقد لاحظ هيندرسون، الذي ساعد في قيادة الحملة ضد الجدري «أين سنكون اليوم إذا أصبح الـ HIV طفيليا مطلقا في الهواء؟ وماذا لدينا للقول أن وباء مماثلا، قد لا يقوم بذلك في المستقبل؟»

وقد تستخدم دولة في حالة الحرب أيضا التكنولوجيا الحيوية لنشر مرض من أجل الفتك بمحاصيل العدو، وإحداث مجاعة. ويقول أ. ن. موخا بادي، عميد كلية الزراعة لجامعة بونت في الهند « يمكن فعل ذلك بسهولة، إن هذا ليس خيالا علميا». وتعلق باربرا روزنبرج، من اتحاد العلماء الأمريكيين على ذلك بقولها «ليست الأجهزة اللازمة لتطوير السلاح البيولوجي أجهزة متقدمة تكنولوجيا، بحيث لايمكن صنعها محليا من قبل أي دولة عازمة على تطوير قدرة السلاح البيولوجي لديها، ولاتوجد دولة منيعة ضد هذه المخاطر».

وفي الاجتماع السنوي للجمعية الأمريكية للطب والصحة الاستوائية، الذي عقد في هونولولو عام ١٩٨٩، عرض العلماء مناورات حربية غير عادية

وافتراضية، تشتمل على سلاح جرثومي، وفي تلك المناورة اندلعت حرب أهلية وفوضى جماعية في إفريقيا الوسطى، وفجأة يظهر فيروس إيبولا، الذي يحمله الهواء من قذارة معسكر اللاجئين، وخلال أيام يبدأ في الانتشار خارج المعسكر، ليصل في النهاية إلى المطارات، وينتشر نحو أوروبا والولايات المتحدة، وخلال عشرة أيام يصل إلى العاصمة واشنطن ونيويورك وهونولولو وجنيف وفرانكفورت ومانيلا وبانكوك، وخلال شهر ينطلق وباء عالمي يسبب ذعرا في العالم بأسره، يقول كارل جونسون، في معرض تعليقه على هذه المناورة التي تقشعر لها الأبدان، قد تقول إن هذا أمر مضحك، ولكنني لا أعتقد أن بإمكاننا إهمال هذا الاحتمال، لقد كان ومايزال أمرا ممكنا».

وربما كان أحد أكثر أشكال الأسلحة الجرثومية رعبا، ما يُدعى «الأسلحة العرقية»، أي الجراثيم المحولة جينيا، والتي لا تهاجم إلا جماعات عرقية أو أجناسا محددة، لقد كانت أول إشارة علنية للأسلحة العرقية في عام ١٩٧٠، في مجلة ميليتري ريفيو، التي لاحظت أن بعض الآسيويين لا يستطيعون هضم الحليب، ولقد استخدم المقال هذا المثال ليوضّح أن بعض أجناس البشر مهددون ببعض المواد الكيمائية، وتظهر وثائق، رُفع حظر نشرها أخيرا، أن سلاح البحرية الأمريكية أجرى عام ١٩٥١ اختبارات عالية السرية، ليحدد مدى مناعته لهجوم يؤثر بشكل انتقائي في عمال الدفاع الأمريكيين من أصل إفريقي باستخدام «كوكسيديوديس إيميتس»، والذي يسبب حمى وادي سان جوكوين، والذي يقتل من الأمريكيين من أصل إفريقي ١٠ أمثال ما يقتله من الأمريكيين من أصل قوقازي.

ويلاحظ تشارلز بيلر مؤلف «حروب الجينات» أن حمى وادي سان جوكوين، وهي مرض فطري، طورت في الولايات المتحدة كسلاح بيولوجي محتمل في الأربعينيات، ولقد درس المخططون العسكريون مرة تحويل هذا الكائن الحي، بحيث يهاجم مجموعة عرقية واحدة محددة.

وضع تشريعات للجينوم

يقول فرانسيس كولينز «لست مفرطا في التفاؤل، بحيث أتصور بأن معلومات بهذه القوة، لايمكن أن تستخدم ـ في لحظة ما ـ في المستقبل

بالطريقة الخاطئة، وإذا اعتقدت أن أحد أقوى مهام البشر، هو البحث عن طرق لتخفيف الألم الإنساني، فلن تكون حقا ضد هذا البحث، ولكنها مجرد معرفة، إنها ليست خير أو شرا، إنها مجرد معرفة».

ولكن المعرفة قوة، والقوة مسألة اجتماعية وسياسية في حد ذاتها. وللمساعدة في إيضاح القضايا الأساسية المطروحة على علم الجينات في المستقبل، استخلص برنامج «القضايا الأخلاقية والقانونية والاجتماعية للعلم» EISI بعض التوجهات لمعالجة تلك القضايا الأخلاقية الشائكة، وتمحورت هذه التوجهات حول ما يلي:

العدالة للجميع: عدم التمييز الجيني.

حق الخصوصية: منع إذاعة الأسرار.

تقديم الرعاية الصحية: إتاحة الخدمات للجميع.

الحاجة إلى التعليم: رفع وعي الجماهير.

إن هذه التوجهات تحدد بعض القضايا الأساسية، وتعطي الاستجابة الفعالة لها، ومع ذلك فلاتزال كيفية تنفيذها موضع تساؤل. وفي النهاية قد يحل العديد من هذه المسائل الأخلاقية بمزيج من الضغط الاجتماعي والتشريع والمعاهدات بين الدول. وليست هناك طريقة ناجعة لوقف تقدم العلم نهائيا، ولكن علينا إيجاد طريقة لنتحكم بعناية في التجاوزات الناجمة عن التكنولوجيا، وقد يحتاج بعض نواحي البحث الجيني إلى التحريم نهائيا، ولكن السياسة العامة الفضلى هي ذكر مخاطر وإمكانات البحث الجيني علنا أمام الجمهور، وإصدار قوانين تحدد بشكل ديموقراطي اتجاه التكنولوجيا، نحو تخفيف المرض والألم.

ويعتقد كابلان أنه الممكن حل بعض المسائل البسيطة بشكل طوعي مسايرة لما هو سائد، وعلى سبيل المثال، يطلب العديد من النساء في أواخر سن الثلاثين أو أكبر من ذلك بشكل طوعي إجراء عملية «البزل السلّي»، والتي يمكن من خلالها تحديد إذا كان الجنين يعاني متلازمة داون. وفي المستقبل عندما تُتقن الاختبارات لأمراض جينية أكثر، قد توافق النساء طوعا على أن يختبرن خلال حملهن. ومع ذلك ستحتاج بعض القضايا الأخرى إلى تشريع فوري، ومنذ فترة تُبحث، على سبيل المثال، عدة مشروعات قوانين في الكونجرس لمنع شركات التأمين من التمييز على أساس التكوين الجيني.

وبالمثل قد تحتاج المجتمعات إلى إصدار تشريع، لتقرير أي من معالجات الخط الوراثي التي ستحرم. وعلى سبيل المثال، هل القصر مرض؟ ويخشى العديد من العلماء، الذين يعملون على المعالجة الجينية من أن تستخدم ثمار عملهم لأغراض تجميلية بحتة. ويطالبون بشكل مقنع بمنع معالجة الخط السلالي التناسلي لأغراض تجميلية. بينما يمكن ترخيص المعالجة لبعض أصناف الأمراض الجينية المستعصية.

وفي النهاية يجب إقرار مسألة السلاح الجرثومي بمعاهدة. لقد كانت معاهدة الحروب البيولوجية لعام ١٩٧٢، التي وقعت من قبل الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي السابق وعدد من الدول الأخرى، علامة فارقة في محاولة تحريم الحرب الجينية أو تقييدها، ولسوء الحظ فقد وقعت قبل مجيء تكنولوجيا الـ «د. ن. أ» المطعّم. وبالتالي فهناك عدد من الثغرات المحتملة. فلقد حرمت أولا استخدام الأسلحة البيولوجية من أجل «أغراض معادية أو في نزاع مسلح» ومع ذلك، ففي عصر الـ «د. ن. أ» المطعم هناك فارق بسيط ونادر بين الاستخدام الدفاعي والهجومي للجراثيم القاتلة. وثانيا لقد حظرت المعاهدة «تطوير» الأسلحة الجرثومية، ولكنها سمحت بإجراء «بحوث» عليها، وهذا يعني، لسوء الحظ، أنه من القانوني إجراء «بحوث» على كميات كبيرة من الجراثيم المميتة، بقصد استخدامها في حرب في المستقبل. وفي التكنولوجيا الحيوية ليس هناك تمييز كبير بين البحث العلمي في سلاح بيولوجي، وتطوير هذا السلاح، ونظرا لأنه لا يوجد خط فاصل بين الاستخدامات الدفاعية والهجومية للحروب الجرثومية، فقد يتعين تحريم حقل الأسلحة البيولوجية بكامله. وذكر تقرير قدم من قبل مكتب تقويم التكنولوجيا عام ١٩٩٥، أن هناك ١٧ بلدا تعمل في مجال الأسلحة البيولوجية.

وفي النهاية يجب أن تكون هناك قيود دولية صارمة على هذا النوع من تكنولوجيا الأسلحة، تشمل فحص المواقع، وتفكيك أجهزة الأسلحة البيولوجية المعروفة، ومراقبة تدفق بعض المواد الكيميائية وأشكال الحياة... إلخ. إن الأمر لن يكون سهلا، لكن مثل هذه الضمانات ضروري، لمنع أشكال خطيرة من الأحياء من الظهور من معامل خارجة على القانون. إن تحريم أسلحة الحرب هذه قد يكون مقبولا بشكل عام عندما ندرك أن

رؤى مستقبلية

الأسلحة البيولوجية غير مستقرة، ولا يمكن توقع نتائجها، ولا يعتمد عليها في حروب فعلية. وعلى المجتمع، في النهاية، أن يتخذ قرارات ديموقراطية بخصوص تقييد بعض أشكال التكنولوجيا من عدمه.

وعلى خلاف التكنولوجيا النووية، فإن الجدل حول مخاطر ومزايا التكنولوجيا البيولوجية لا يزال في مراحله الأولى، مما يعطي المجتمع الوقت اللازم ليقرر أشكال التكنولوجيا، التي يمكن السماح لها بالنمو، والأشكال التي يجب حظرها. وفي أي ديموقراطية، فإن الأمر الحاسم هو النقاش المثقف والواعي، من قبل ناخبين مستنيرين.



الجزء الرابع

ثورة الكم (الكوانتم)

13 مستقبل الكم

في المشهد الأخير من فيلم (العودة إلى المستقبل) تعلن فرقعة الطاقة الكهربائية وأصوات الرعد عن الوصول المؤثر لحوامة أنيقة قادمة من المستقبل، وبينما تهبط الحوامة بلطف على مروج مايكل فوكس، يندفع العالم المهووس دوك براون خارجا، وهو يفتش بحماس عن بعض الوقود؛ ليملأ به خزان وقوده الفارغ. ثم يركض مسرعا إلى أول علبة قاذورات، ويرفع غطاءها حيث تظهر قشور الموز ذات الرائحة العفنة، وقشور البيض المكسر والفضلات الأخرى، ويقول: آه نعم، قشور موز، ثم يرمي بقشور الموز في خزان وقوده ويتأهب للإقلاع.

قشور موز؟! ثم تركز آلة التصوير على خزان وقوده، الذي كتب عليه السيد «اندماج». وتؤين غرفة الاندماج في حوامته الفضلات بسرعة، وتحولها إلى وقود خام، وعندما تُعطى الحوامة الطاقة من جرعة قوية من الفضلات، ترتفع في الهواء ثم تنطلق كالصاروخ نحو

«إن أي شخص لم تصدمه نظرية الكم، لابد أنه لم يفهمها»

نيلز بوهر

الفضاء. وبينما يدخل دوك براون آلة الزمن ويبحر عائدا إلى المستقبل، يقول بصوت مرتفع «في المستقبل لن تكون هناك طرقات».

لقد ألهب هذا المشهد خيال ملايين الأمريكيين، إلى حد أن الرئيس رونالد ريجان ذكره في خطابه، حول حالة الاتحاد الأمريكي. وبالطبع فإن «العودة إلى المستقبل» مجرد فيلم من إنتاج هوليوود، ولكن المركبات التي تسبح في الهواء مستخدمة مغنطيسات قوية أو آلات اندماج، يمكن تصغيرها بحيث تزود آلاتنا بالطاقة، قد لا تكون كذلك. وفي النهاية، فإن فيزياء الكم هي التي ستقدم الأجوبة عن هذه الأسئلة.

لقد كانت فيزياء الكم هي المسؤولة عن إطلاق ثورة الـ «د.ن.أ» والثورة البيوجزيئية في الخمسينيات، وبإدخال ماسحات الأشعة المقطعية والبوزيترون وغيرها ساعدت فيزياء الكم على تغيير طريقة إجراء البحث الطبي في التسعينيات، وقد أعطتنا أيضا الترانزستور والليزر اللذين بدلا بعمق طبيعة التجارة والعمل والتسلية والعلم. إن الانتقال السلس إلى عام ٢٠٢٠، حيث تتضاعف قدرة الكمبيوتر وسلسلة الـ «د.ن.أ» مرة كل عامين تقريبا، ممكن بسبب تكنولوجيا وفرتها نظرية الكم (الكوانتم)، ولكن فيزياء الكم لم تراوح مكانها في العقود الأربعة الماضية، لقد حصل تطور مهم في نواح عدة سوف تقرر منحى القرن الحادي والعشرين.

تكنولوجيا النانو Nano Technology: الآلات الجزيئية

في فيلم «العودة إلى المستقبل» زودت طاقة الشمس الكونية عربة دوك براون بالطاقة، في جهاز بحجم إبريق الشاي، مما يثير السؤال التالي: إلى أي مقياس يمكن تصغير الآلات؟ إن تكنولوجيا النانو أو تكنولوجيا التصغير هي حقل يعد ربما بأصغر الآلات المحتملة، وهي الآلات الجزيئية، وعلى الرغم من أن هناك حاجة إلى عدد من التطورات المهمة لإيصال هذه التكنولوجيا إلى السوق، فإنه يبدو أنها متسقة تماما مع قوانين الفيزياء، وأكثر من ذلك، فإن إمكاناتها مذهلة بحيث لا يمكن استبعادها بسهولة.

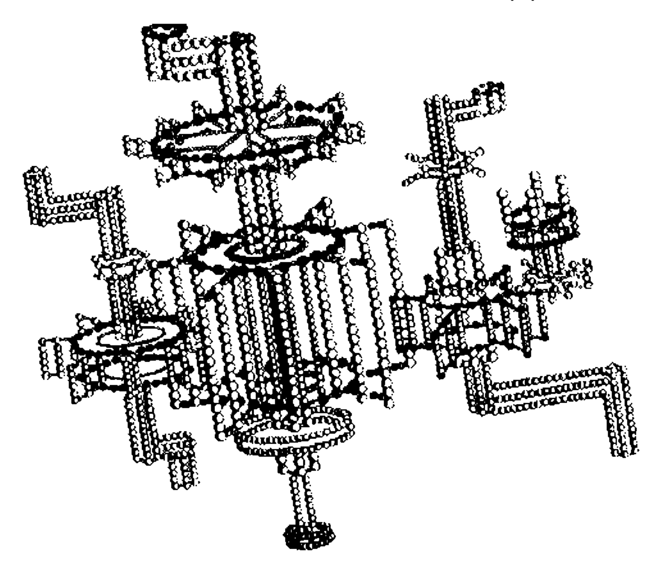
وقد تفتح تكنولوجيا النانو حقبة جديدة في علاقتنا مع البيولوجيا والتكنولوجيا، ولأن العلماء استطاعوا أخيرا التحكم في الذرات المفردة، فلا يعد ضربا من الخيال الاعتقاد بأن العلماء سيتمكنون يوما ما من صنع مسننات وعجلات، ليست أكبر من بضع ذرات قطرا، وبأخذ الخطوات الضخمة التي أُحرزت في مجال التحكم بالذرات المفردة في الحسبان، فهناك اتفاق في المجتمع العلمي، على أن الآلات الدقيقة ذات الحجم الذري، قد تكون ممكنة في المستقبل المنظور.

إن المثير بشكل خاص (والذي يثير الجدل بشكل كبير) حول تكنولوجيا الأجهزة النانوية، هو الاعتقاد بأن هذه الآلات قد تستطيع التقاط الجزيئات من البيئة وجعلها تعيد إنتاج ذاتها، خالقة عددا غير محدد من أجهزة الإنسان الآلي الجزيئية، التي يمكنها إنجاز عجائب هندسية تتحدى تخيلنا. وبحجم عُشر ميكرون ستتمكن هذه الآلات من التحكم في الذرات المفردة، خالقة مصنعا لآلات ذرية تركب مثل مكعبات الليجو. وبتريليونات فوق تريليونات من هذه الأجهزة الجزيئية، المتجمعة في موقع ما، فإن المشكلات الهندسية والبيولوجية التي لا يمكن معالجتها حاليا يمكن (مبدئيا على الأقل) أن تحل، وبصورة مشابهة للفيروسات والبكتيريا، ستمتلك هذه الآلات الذرية الدقيقة القدرة على صنع نسخ منها، بحيث إنها ستتكاثر مثل كائنات حية معيدة تشكيل البيئة حولها.

وتتضمن بعض النواحي التي يمكن بواسطتها استخدام مثل هذه الآلات الآتي:

- القضاء على جراثيم معدية.
- القضاء على خلايا سرطانية الواحدة بعد الأخرى.
- حراسة دورتنا الدموية وإزاحة الترسبات من شرايينا.
- تنظيف البيئة بالتهام الفضلات الخطرة.
- القضاء على الجوع في العالم عن طريق زراعة أغذية رخيصة ومتوافرة.
- بناء أنواع جديدة من الآلات: من الصواريخ الداعمة إلى الشرائح الدقيقة.
- إصلاح الخلايا التالفة ووقف عملية التقدم في السن.
- بناء أجهزة كمبيوتر فائقة بحجم الذرات.

ويمكن من حيث المبدأ، صنع آلات جزيئية بمسننات وأجزاء متحركة عن طريق التحكم في الذرات المستقلة، وإذا أمكن في المستقبل برمجتها، بحيث تتكاثر ذاتيا، فمن الممكن أن تُنجَز عجائب أشبه بالمعجزات من الهندسة التكنولوجية والبيولوجية.



«الآلات الجزيئية» يمكن أن تصنع، من حيث المبدأ، من خلال التحكم في الذرات الفردية. فإذا ما أمكن في المستقبل برمجتها، بحيث تعيد إنتاج نفسها، فيصبح بإمكانها إنجاز أشياء هائلة في مجال الهندسة الحيوية والتقنية.

ويدعي أنصار تكنولوجيا الأجهزة النانونية أنها قد تعطينا أيضا نوعا من الخلود، فهم يعتقدون بتجميد جسم الإنسان بعد الموت، ومن ثم استخدام أجهزة إنسان آلي جزيئية تعكس تلف الخلية المحتم، الذي يحدث عندما تحطم البلورات الجليدية جدار الخلية (وبالفعل فإن الكثير من المروجين لها وقعوا مسبقا على وثائق لتجميد أجسامهم بعد الموت).

ولأن هذه الآلات تعيد نسخ نفسها، فإن كلفتها معدومة تقريبا، ويمكن للمرء أن يتصورحرفيا آلاف التطبيقات المذهلة لجيوش من أجهزة الإنسان الآلي الجزيئية، التي يمكنها أن تتكاثر وأن تتحكم في الذرات من حولها. لقد

ترددت أصداء صرخة إنذار تكنولوجيا الأجهزة النانونية في وادي السيليكون، الذي اعتاد أن يفكر عقودا للأمام في مجال الإلكترونيات الدقيقة. ولم تغب التطبيقات العسكرية لمثل هذه التكنولوجيا القوية عن بال البنتاجون، ولقد قال الأدميرال ديفيد جيرمايا، نائب الرئيس السابق لهيئة أركان الحرب «إن للتطبيقات العسكرية للصناعة الجزيئية إمكانا أكبر من الأسلحة النووية في تغيير توازن القوى جذريا»، ويمكن التهام قوة معادية في ساعات قليلة بقطعان غير مرئية تقريبا لتريليونات من أجهزة الإنسان الآلي، التي تنسخ نفسها وتتكاثر بهذه الطريقة.

وعلى الرغم من كل إمكانات التكنولوجيا النانونية، فإنه يجب تلطيف حماس العلماء بالقيود العملية، التي تفرضها الهندسة والفيزياء، ويبقى السؤال فيما إذا كانت تكنولوجيا النانو ممكنة. لقد اقتُرحت التكنولوجيا النانونية -لأول مرة ـ من قبل ريتشارد فينمان الحاصل على جائزة نوبل، الذي لا يكل من الحديث عنها في مقال حول الموضوع بعنوان «هناك مجال كبير عند القاع»، ويبدأ فينمان بسؤال نفسه «إلى أي حد من الصغر يمكنك أن تصنع آلة متسقة مع قوانين الفيزياء؟ ولعظم دهشته، فإنه لم يجد في قوانين ميكانيكا الكم شيئا يمنع من صنع آلات بحجم الجزيئات»، وقد كتب فينمان يقول «إن مبادئ الفيزياء ـ كما أراها ـ لا تتناقض مع احتمال التحكم في الأشياء ذرة فذرة. إنها ليست محاولة لاختراق أي قوانين، إنها شيء يمكن مبدئيا أن يعمل، ولكنها لم تجرب تطبيقيا، لأننا كبيرون جدا، ويمكن مساعدة مشكلات الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء بشكل كبير، إذا طورنا في النهاية قدرتنا على رؤية ماذا نفعل، وأن نعمل أشياء على المستوى الذري، وهو تطور أعتقد أنه لا مناص منه»، وقد تحدى مجتمع الفيزياء بتقديم جائزة مقدارها ألف دولار لأول شخص يقوم بتطبيق تكنولوجيا النانو أو عرضها.

ويشير بعض نقاد هذه التكنولوجيا إلى أن ادعاءات أولئك الذين يؤيدونها مبالغ فيها إلى حد ما، إن نتائجها ضئيلة، وهذا النقد صحيح، وبالفعل فهناك آلات جزيئية توجد في الطبيعة، ولكن لم يتم إلى الآن إنجاز آلة جزيئية واحدة في المعمل، وليس من المتوقع الحصول على واحدة بعد عقد على الأقل. أما أجهزة الإنسان الآلي ذاتية التكاثر، فإنها لا تزال شطحة أخرى من الخيال أبعد من ذلك بكثير، ويسأل ديفيد جونز أحد ألذع نقاد هذه التكنولوجيا، وهو

كيميائي وكاتب بمجلة نيتشر Nature الشهيرة «كيف يمكن لتلك الآلات أن تعرف موقع كل ذرة؟ وكيف تُبرمَج مثل هذه الآلات لأداء إنجازاتها الخارقة؟ كيف تتحرك؟ ومن أين تأتي طاقتها؟». وقد يثبت أن تنسيق جهود بضعة كوادريليونات من الآلات الجزيئية أمر مستحيل، ويستنتج جونز بتهكم لاذع «حتى تتم صياغة هذه الأسئلة والإجابة عنها بصورة ملائمة، ستبقى التكنولوجيا النانونية مجرد عرض آخر في معرض الغرائب لمدرسة التفاؤل غير المحدود للتنبؤ التكنولوجي».

هناك ناقد آخر يدعى فيليب بارث، وهو مهندس يعمل في شركة هيوليت باكارد، يقول : «هناك حجة وجيهة لكل شيء، ولكن لا توجد إجابات مفصلة لأي شيء»، وقد عرض بارث رسالة على الإنترنت، تدعي أن التكنولوجيا النانونية أصبحت طائفة سياسية اجتماعية علمية نفسانية، مثل أي طائفة دينية أخرى.

وبالفعل فقد أصبحت هذه التكنولوجيا موضوعا محببا في روايات الخيال العلمي، ويقول استيفان سيزري روني، وهو محرر في (مجلة ساينس فكشن ستاديز): «يبدو أن تكنولوجيا النانو أصبحت الدواء الشافي والغبار السحري اللذين يسمحان لأي شيء أن يحدث بتفسير نفسي علمي».

من الآن وحتى ٢٠٢٠: MEMS

على الرغم من أن أحدا لا يتوقع بناء إنسان آلي جزيئي ذاتي التكاثر في المستقبل القريب، إلا أنه حصل تقدم بطيء ولكنه أصيل ومستمر في عدد من المجالات، التي تستمر في إثارة فضول المتشككين والمدافعين على حد سواء. وبدلا من الجدال حول مزايا تكنولوجيا النانو، يقوم الفيزيائيون والكيميائيون - فعلا - ببناء نماذج رائدة لهذه الآلات في معاملهم. ومن المتوقع من الآن وحتى عام ٢٠٢٠ أن يجد الجيل الأول من الآلات الجزيئية، التي تدعى الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة MEMS، تطبيقات تجارية واسعة، ومن بينها مجسات ومحركات صغيرة بحجم جسيم من الغبار، وبالرغم من أنها لا تزال بعيدة جدا عن الآلات الجزيئية الحقيقية، إلا أن النماذج الأولية منها قد دخلت السوق منذ مدة مولدة صناعة بحجم ٢,٢ بليون دولار، ومن المتوقع أن تتجاوز ١٥ بليون دولار مع بداية القرن الحادي والعشرين.

إن ما يحرك سوق الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة هي تقانات النقش الضوئي Etching Techinques ذاتها، التي استخدمت مسبقا في صناعة الشرائح الدقيقة، فبدلا من نقش ملايين الترانزستورات، يقوم العلماء الآن بنقش مجسات ومحركات صغيرة على الرقائق السيليكونية. وإضافة إلى ذلك تستخدم حزم صغيرة جدا من أشعة إكس لنقش البوليمرات، التي يمكن تغطيتها بالمعدن كهربائيا لخلق قوالب معدنية، ومنذ فترة يستخدم كاشف حركة ليس أكبر من خصلة شعر في الوسائد الهوائية. وتحل قطعة بسُمك شعرة من السيليكون، يمكنها اكتشاف التباطؤ المفاجئ لسيارة، محل كاشفات حركة الوسائد الهوائية السابقة الأضخم والأثقل. وقامت شركة دينسو، وهي أحد فروع تويوتا، بصنع أحد أصغر المحركات في العالم، وهو محرك دقيق بحجم ٠,٧ مم، يستطيع أن يحرك سيارة دقيقة بسرعة بوصتين/ثانية.

ويمكن لهذه الأجهزة الدقيقة أن تحدث ثورة في عدد من الحقول، وعلى سبيل المثال، باستطاعة جهاز من هذا النوع في مجال الطب أن:

- يخفض بشكل كبير الكلفة الحالية لأجهزة قياس الطيف، التي تبلغ ٢٠ ألف دولار إلى حوالى ١٠ دولارات.
- يصنع معملا كاملا على شريحة، قادرا على التشخيص الطبي والتحليل الكيميائي.
- يصنع أجهزة ميكروية تستطيع أن تمر عبر الأوعية الدموية، تُحرَّك بواسطة سيارة ميكروية.

وقد تصبح الأجهزة الكهروميكانيكية الدقيقة أيضا جزءا قياسيا من الصناعة بواسطة:

- وضع هذه الأجهزة في حديد تسليح الخرسانة، لتحسس الإجهاد والضغط على الأساسات، مما قد يسهم في إنقاذ أرواح الآلاف في حالة هزة أرضية.
- تثبيتها على أجنحة الطائرات لتخفيف عملية الاحتكاك، ولزيادة الكفاءة.

ويهتم الجيش أيضا بهذه الأجهزة، وهم يدرسون أجهزة تدعى بـ «غبار الاستطلاع» يمكن أن ترش فوق ميدان القتال، ويمكن تزويد هذا الغبار الذي يعلق في الهواء لساعات بكاشفات أشعة تحت الحمراء وأجهزة إرسال لاسلكي وحتى كاشفات الغاز السام، ويمكن أن يستخدم لتحديد مواقع العدو.

إن أحد الأشخاص الذين يؤيدون تكنولوجيا الأجهزة الكهروميكانيكية الدقيقة هو جوردن مور، الشريك المؤسس لشركة إنتل، الذي صاغ قانون مور، وهو يقول في ذلك «لقد مر وقت طويل قبل أن يحدث الترانزستور تأثيرا، إن تكنولوجيا الأجهزة الكهروميكانيكية الدقيقة شائقة بالفعل، وأعتقد أنه سيكون لها تأثير مهم في القرن الحادي والعشرين».

من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠: بناء آلات جزيئية

يمكن استبدال آلات جزيئية حقيقية بالأجهزة الكهروميكانيكية الدقيقة بعد عام ٢٠٢٠، وقد حُققت نتائج مدهشة في المختبر، تشمل التحكم في بنى وهياكل ليست أكبر من عدة ذرات عرضا، وفي عام ١٩٨٩ استطاع عالمان في الـ IBM سحب ٣٥ ذرة مستقلة من مادة الزينون على طول سطح من النيكل باستخدام مجهر المسح النفقي، بحيث كتبت «IBM» بأحرف مؤلفة من ذرات وحيدة. ويشتمل مجهر المسح النفقي على سحب إبرة صغيرة جدا على طول سطح جسم ما، وبقياس الاضطرابات الكهربائية الخفيفة التي تحدثها الذرات عند تحرك الإبرة، استطاع العلماء الكشف عن وجود ذرات مفردة. (وهذا شبيه - إلى حد ما - بطريقة قراءة العميان لأحرف برايل عن طريق إمرار أصابعهم فوق نتوءات على صفحة من الورق). وتمر الإلكترونات في «نفق» عبر الحاجز الكهربائي بين الإبرة والذرات، وبالتالي تخلق تيارا يقيس موضع الذرات، ولكن من الممكن استخدام مجهر المسح النفقي لتحريك الذرات فيزيائيا، الواحدة بعد الأخرى.

وفي عام ١٩٩٦ أُنجز تقدم آخر عندما أظهر العلماء في معمل بحوث I.B.M في زيورخ أن باستطاعتهم استخدام إبرة مجهر مسح نفقي، لتحريك جزيئات مستقلة، لخلق حلقات سداسية مستقرة من الجزيئات عند درجة حرارة الغرفة (في تجربة سابقة، تم التلاعب بالجزيئات عند درجات حرارة منخفضة جدا)، وفي أواخر عام ١٩٩٦ تفوق الفيزيائيون في المعمل ذاته على إنجازهم السابق، وصنعوا معدادا (آلة للعد) من ذرات مستقلة، وعلى الرغم من أنه غير عملي تماما، فإنه يشير إلى التقدم السريع الذي تم في هذا المجال. إن «حبات» المعداد مصنوعة في الواقع من كرات بكي buckyballs،

وهي جزيئات كربون كروية: ٦٠ ذرة كربون مرتبة مثل الرقع التي يتألف منها الشكل الخارجي لكرة القدم، والمسماة باسم التدليل للعالم باكمنستر فولر)، ثم توضع كل كرة من كرات بكي في أخاديد بعرض ذرة نحاس واحدة، ثم تستخدم إبرة مجهر المسح النفقي لزلق كل كرة من هذا الشكل ضمن كل أخدود، مما يحاكي معدادا حقيقيا. (وقد قارن أحد الفيزيائيين هذا الإنجاز باستخدام برج إيفل لإزاحة حبات العداد).

إن أحد الانتقادات لتكنولوجيا النانو، هو أنه لا يوجد ما يكافئ السلك الذي ينقل التيار الكهربائي، ويربط الأجزاء المختلفة للآلة الجزيئية، ومع ذلك فقد حُلت هذه المشكلة بإدخال حالة غير عادية للمادة تدعى «أنبوب النانو الكربوني»، وقد حدثت أخيرا فورة من الحماس بين الكيميائيين لهذه الأسطوانات المفرغة المصنوعة من جزيئات كربونية، والتي تفوق قوتها قوة الفولاذ ١٠٠ مرة، مع أن وزنها $\frac{١}{٦٠}$ من وزنه، وهذه الأنابيب النانونية نحيلة جدا، بحيث إن ٥٠ ألفا منها ـ جنبا إلى جنب ـ يغطي عرض شعرة إنسان.

وتصنع هذه الألياف المثيرة بالطريقة ذاتها، التي تصنع بها كرات بكي، عن طريق تسخين الكربون العادي ليتبخر، ثم تركه يتكاثف في جو مفرغ من الهواء أو يحتوي على غاز خامل، وفي هذه الحالة تعيد ذرات الكربون ترتيب نفسها على شكل رقع الكرة وأنابيب نانو من دون أي تحريض، وتتكاثف الكرات المرقعة العادية إلى أشكال خماسية وسداسية شبيهة برقع كرة القدم، أما أنابيب النانو، فإنها تتكاثف إلى سلسلة من الأشكال السداسية على شكل أسطوانة. إن هذه الأنابيب النانونية قوية جدا، بحيث إنها تدعى «الألياف ذات القوة القصوى»، وهي أيضا ناقلة للكهرباء، مما يجعل لها تطبيقات ضخمة في أجهزة الكمبيوتر، وعلى الرغم من أنه لم تُصنع إلا بضعة جرامات من أنابيب النانو في آن واحد، إلا أن الكيميائيين يتخيلون إمكان صنع أطنان منها تجاريا في يوم من الأيام. أما استخدامات هذه الألياف المثيرة فهي كثيرة، فقد يكون من الممكن ـ على سبيل المثال ـ صنع ترانزستور جزيئي من أنابيب نانو بحقن كرة بكي عادية من ٦٠ ذرة داخل أنبوب نانو (بحيث تكون هذه الكرة مساوية تماما لمساحة الأنبوب)، ويمكن للكرة أن تتحرك داخل الأنبوب، بحيث تغير من خصائصه الكهربائية، وتعمل بالفعل كقاطع جزيئي لنقل الكهرباء. ويمكن حتى تركيب آلات كهربائية جديدة لا يوجد ما يقابلها

في الإلكترونيات العادية، ويمكن على سبيل المثال إدخال ذرة معدنية داخل كرة بكي، تحشر بدورها ضمن أنبوب نانو، خالقة بذلك ما يكافئ سلكا معدنيا بعرض ذرة واحدة، وبخصائص كهربائية جديدة. وتشمل التطبيقات الأخرى صنع أسلاك جزيئية لربط جزيئات أخرى أو لبناء «مجس» جزيئي يمكنه أن «يتحسس» النسيج الجزيئي لسطح ما (والذي يمكن أن يعطينا رقائق سيليكونية بمواصفات نقية جدا).

وربما كان التطبيق الأكثر إثارة، والذي يبدو أنه يطيع قوانين الفيزياء، هو بناء «علاقة سماوية»، وهي علاقة أسطورية تتدلى في الهواء، وإذا كان القمر الاصطناعي يدور حول الأرض على بعد ٢٠ ألف ميل تقريبا من سطح الأرض، فإن هذا المدار (متزامن مع الأرض)، أي أنه ثابت في السماء، لأن دوران الأرض يطابق تماما دوران القمر الاصطناعي حول الأرض. وبما أن القمر الاصطناعي يبدو بلا حركة، عندما ينظر إليه من الأرض، فيمكن إدلاء حبل من القمر الاصطناعي إلى الأرض، بحيث يبدو هذا الحبل معلقا في الهواء، فهو سيصعد في السماء حتى يختفي بعد السحب، متحديا في الظاهر قوانين الجاذبية. ومن حيث المبدأ يمكن تسلق هذه العلاقة السماوية، والمغامرة بالخروج إلى الفضاء الخارجي من دون صواريخ دافعة، وبالتالي إحداث ثورة في السفر إلى الفضاء.

ولسوء الحظ، فإن عملية حسابية بسيطة تظهر أن الإجهادات على مثل هذا الحبل ستكون قوية جدا، بحيث إنه سينقطع، مما يجعل العلاقة السماوية غير عملية، ومع ذلك يتصور دانيال كولبرت من جامعة رايس في هوستن بناء أسلاك جزيئية متينة من أنابيب نانو، ويحسب أن هذه الأنابيب، على النقيض من أي مادة أخرى على الأرض، يمكنها أن تتحمل وزنها والإجهادات الناجمة عن وصل الأرض بقمر اصطناعي متزامن معها.

وربما سنشهد في الحقبة بين ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠ آلات أكثر تعقيدا مصنوعة بواسطة التحكم في ذرات مفردة، ويمكن صنع مقابلات للمسننات والبراغي والعتلات والأسلاك على المستوى الجزيئي في هذه الحقبة. ولكن هذه الآلات الجزيئية لاتزال بعيدة جدا عن الآلات الجزيئية ذاتية التكاثر، التي تخيلها أساطين التكنولوجيا النانونية، وإذا كانت ممكنة على الإطلاق، فإن هذا سيتم في الفترة بعد ٢٠٥٠. وربما كان الكاتب الساخر ذو النزعة

العملية فينمان هو الذي سيضحك أخيرا، فالتكنولوجيا النانونية يبدو أنها لا تخترق أي قانون من قوانين الفيزياء، ومع ذلك مازال من المتعين عليها - حتى الآن - أن تنتج عملا ملموسا وواضحا من أعمال العلم أو الهندسة. فمن وجهة نظر معظم الفيزيائيين أن الاستدلال على وجود هذه الآلات الميكروية الأسطورية ذاتية التناسل يكون بإنتاجها بالفعل. وإلى أن يحدث ذلك، فليس لأحد أن يصدر حكما بشأنها.

وبأخذ التقدم السريع بالتحكم في الذرات المستقلة في الحسبان، فقد يُبنى الجيل الأول من الآلات الجزيئية البسيطة خلال العقد القادم، ولكن ما تبشرنا به تكنولوجيا النانو (آلات جزيئية ذاتية التكاثر يمكنها أن تحرك الجزيئات حسب الرغبة) يبقى تخمينا محضا عند هذا الحد.

الموصلات الفائقة عند درجة الحرارة العادية: «ضرورة ملحة»

في فيلم «العودة إلى المستقبل» سبحت حوامة دوك براون في الهواء، ويمكن مبدئيا لمركبة كهذه أن ترتفع عن الأرض باستخدام القوة المغناطيسية، التي قد تصبح قوة ضخمة جدا في القرن الحادي والعشرين، ويمكن صنع قطارات «الرفع المغناطيسي» Maglev المزودة بمغناطيسات قوية، بحيث ترتفع بضع بوصات فوق قضبانها المعدنية، وبحيث تتحرك على وسادة هوائية من دون احتكاك، وتصل بالتالي إلى سرعات عالية جدا من دون استهلاك كبير للطاقة. وبالتالي فإن الاحتكاك الذي يمثل الفاقد من الطاقة في الأنظمة الميكانيكية، يمكن أن يخفض إلى الصفر تقريبا.

إن المفتاح لبناء سيارات حوامة رخيصة أو قطارات مغناطيسية سابحة، يعتمد على خاصة غريبة أخرى لعالم الكم، وهي قدرة التوصيل الفائقة Super conductivity . فالمغناطيسات ذات القدرة الفائقة على التوصيل، يمكنها أن تولد حقولا مغناطيسية ضخمة بطاقة قليلة، محققة بالتالي بعض هذه الأحلام الغريبة. ويعود أحد أسباب عدم كفاءة المغناطيسات الضخمة إلى أن كل الأجهزة الكهربائية تطلق حرارة، وحتى الموصلات الفائقة للكهرباء، مثل الفضة أو النحاس، تمتلك مقادير ضئيلة من المقاومة للتيارات الكهربائية. بالنسبة للمهندس، فإن هذا الأمر مزعج، لأن الطاقة الزائدة هي طاقة

مفقودة في الدائرة الكهربائية. وهي أيضا أحد أسباب الأعطال والتوقفات المكلفة، وعلى سبيل المثال لا تحتوي أجهزة الكمبيوتر الشخصية على أجزاء متحركة (ماعدا محرك الأقراص)، ومن المفترض نظريا أن تستمر إلى الأبد، وفي الحقيقة فإنها تتعطل في النهاية؛ بسبب زيادة التسخين الناجم عن المقاومة الكهربائية.

ولكن الموصلات الفائقة قد تغير كل هذا: لقد لوحظت هذه الخاصة الغريبة لأول مرة عام ١٩١١، عندما اكتشف هايك كاميرلنج أونيس في لايدن أن الزئبق يفقد كل المقاومة الكهربائية عندما يبرد إلى حوالى ٤,٢ درجة فوق الصفر المطلق، ولقد حصل بسبب هذا الاكتشاف الأساسي على جائزة نوبل، أما اليوم فقد اكتُشف عدد مذهل من المواد فائقة التوصيل، وفي الحقيقة فإن العدد يصل إلى الآلاف، ولكن المشكلة هي أن هذه الموصلات الفائقة تحتاج إلى كميات ضخمة من الهليوم السائل الثمين لتبريدها إلى قرب الصفر المطلق، ولذا فعلى الرغم من أننا نستطيع خلق حقول مغناطيسية ضخمة بواسطة مواد فائقة التوصيل بغمسها في الهليوم السائل، فإن الكلفة غالبا ما تحول دون استخدامها تجاريا.

لذا ليس من المستغرب أن يكون السعي إلى تحقيق معجزة أو الحصول على الكأس المقدسة لبحوث الموصلات الفائقة، هو إيجاد «موصل فائق عند درجة الحرارة العادية» لا يحتاج إلى أي تبريد على الإطلاق، وإذا أمكن اكتشاف مثل هذا الموصل الفائق، فإنه سوف يغير الصناعة الحديثة على نحو يفوق التصور.

وبما أن الكهرباء هي مصدر الطاقة التي تحرك آلاتنا وتنير مدننا، وتحمص خبزنا وتسلينا في الليل، وتؤدي عملياتنا الحسابية، فإن كل ناحية من نواحي حياتنا ستتأثر بشكل مباشر. ويدعي بعض الفيزيائين أن هذا سيخلق «ثورة صناعية ثانية». وفيما يلي بعض التغييرات التي يمكن أن تأتي بها المواد فائقة التوصيل:

ـ تواجه أجهزة الكمبيوتر الفائقة، كما رأينا في الفصل الخامس، حاجز «النقطة واحد» في الوقت الذي تصبح فيه أشباه الموصلات أصغر فأصغر، وبالتالي تولد كميات ضخمة من الحرارة، أما أجهزة الكمبيوتر الفائقة المصنعة من موصلات فائقة عند درجة الحرارة العادية، فإنها ستولد حرارة أقل، فاتحة الطريق أمام أنواع جديدة من الكمبيوتر.

- يضيع معظم طاقتنا الكهربائية في أثناء نقله عبر مسافات طويلة، ويمكن للموصلات الفائقة عند درجة الحرارة العادية، أن تخفض الفاقد في الكهرباء مما يوفر علينا بلايين الدولارات.

- إن تقليل الفاقد في الأجهزة الكهربائية، يمكن أن يزيل الحاجة إلى وحدات جديدة لتوليد الكهرباء من الوقود الطبيعي، مما يساعد على حل أزمة الطاقة، ويخفف من تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري، وسوف تنخفض حاجات المجتمع الحديث من الطاقة الكهربائية عندما ترتفع كفاءة آلاتنا كثيرا.

- إن الأعطال المكلفة لآلاتنا الكهربائية، الناجمة عن التسخين بسبب المقاومة الكهربائية، سوف تتناقص أيضا، ويتراكم هذا كله على شكل كفاءات و وفورات ضخمة بالنسبة للمستهلك والصناعة.

- ستمكن الموصلات الفائقة عند الحرارة العادية من خلق مجالات مغناطيسية رخيصة ولكنها قوية، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تطوير القطارات المغناطيسية السابحة والسيارات الحوامة، وحتى أنواع جديدة من آلات الرنين المغناطيسي ومعجلات الجسيمات.

- تجعل الموصلات الفائقة أجهزة الاستشعار المغناطيسي الحساسة جدا، والتي تدعى Caps ممكنة، وتستطيع هذه الأجهزة قياس تغيرات صغيرة جدا في المجال المغناطيسي، وقد استخدمت مسبقا في المستشفيات لقياس المجال المغناطيسي لجسم الإنسان.

ولعقود يئس الفيزيائيون من العثور على الموصل الفائق الأسطوري. وقد شُبه البحث عن موصلات فائقة عند درجة الحرارة العادية بالبحث العقيم من قبل الكيميائيين القدامى عن «حجر الفلاسفة»، الذي يحول الرصاص إلى ذهب. ولقد حصل تقدم غير متوقع عام ١٩٨٦، عندما أعلن ك. ألكسندر مولر، و ج.جورج بيدنورز من مختبر أبحاث IBM في زيورخ أنهم صنعوا موصلا فائقا من السيراميك عند درجة حرارة قياسية، تقدر بـ ٣٥ درجة فوق الصفر المطلق، ولقد أدهش هذا الإعلان، الذي كان أول اكتشاف رئيسي في هذا الحقل منذ ٧٠ عاما، عالم الفيزياء، وأدى إلى إحراز العالمين لجائزة نوبل. ولم يشك أحد في أن السيراميك المصنع من سيراميك اللانثانوم باريوم وأكسيد النحاس، اللذين يعدان مادتين عازلتين، يمكن أن يصبحا من الموصلات الفائقة. بعد ذلك بفترة وجيزة بيّن ماو كوين وباول تشو أن

الإيتريوم ـ باريوم أكسيد النحاس YBCO ، يمكن أن يصبح موصلا فائقا عند درجة الحرارة ٩٣ فوق الصفرالمطلق أو تقريبا ـ١٨٠ درجة مئوية.

وسرعان ما انطلق سباق محموم عندما سارع مختبر وراء آخر حول العالم، لمعرفة من سيمكنه أن يكتشف موصلا فائقا عند درجة الحرارة العادية، وخلال أسابيع بدأ تسجيل أرقام جديدة، وارتفعت في كل مرة درجة الحرارة التي تصبح عندها هذه المواد السيراميكية النحاسية موصلات فائقة، واليوم فإن الرقم القياسي العالمي (والذي سيُحطَّم بكل تأكيد في المستقبل القريب) هو لأندرياس شيلينج وزملائه في معهد التكنولوجيا الاتحادي السويسري في زيورخ، والذي بين أن خليط أكسيد النحاس والزئبق والباريوم والكالسيوم، يمكن أن يصبح موصلا فائقا عند ١٣٤ درجة كلفن أو (ـ ١٣٩ درجة مئوية)، وقد سجلت نتائج متفرقة مذهلة في معامل مختلفة عن مواد أصبحت موصلات فائقة عنددرجات حرارة مرتفعة، حتى ٢٥٠ درجة كلفن (أو ـ ٢٣ درجة مئوية)،إلا أن هذه النتائج غير متكررة، وإذا تم التحقق من هذه التقارير، فإنها ستضعنا ضمن مسافة قريبة جدا من الحرارة العادية (والتي هي بحدود ٣٠٠ درجة كلفن).

وعلى الرغم من أن العلماء لايزالون بعيدين جدا عن الوصول إلى درجة الحرارة العادية، فإن هذا الصنف الجديد من الموصلات الفائقة سبب ثورة في العلم منذ فترة. فمن الممكن تبريد هذه المواد السيراميكية النحاسية بواسطة النتروجين السائل، الذي يكلف ١٠ سنتات لكل ربع لتر (مما يجعله أرخص من مادة مساعدة التبريد «Kool-Aid»)، بينما يجب تبريد الموصلات الفائقة التقليدية بالهليوم السائل، الذي يكلف بحدود ٤ دولارات لربع اللتر. إن ميزة استخدام النتروجين السائل لتبريد هذه المواد السيراميكية هي أنها تفتح الباب واسعا أمام عدد من المنتجات التجارية.

وعلى الرغم من كل ذلك، فإن الحماس الذي أثير حول الموصلات الفائقة في أواخر الثمانينيات قد فتر الآن إلى حد بعيد، وحل محله إدراك هادئ بأن الموصلات الفائقة عند درجة الحرارة العادية لا يزال أمامها سنوات وربما عقود بعيدة عن الآن، وهناك مشكلات عدة يجب حلها قبل أن تصبح الموصلات الفائقة المفيدة تجاريا متاحة. أولاها، بالطبع، هو رفع درجة الحرارة الحرجة لهذه الموصلات الفائقة إلى درجة الحرارة العادية، مما

سيؤدي إلى التخلص من التبريد المكلف، بما في ذلك استخدام النتروجين السائل. وثانيتها صعوبة تشكيل هذه المواد السيراميكية لتصبح على شكل أسلاك رفيعة، وذلك على النقيض من المعادن، فالسيراميك يميل إلى أن يكون هشا، بينما المعادن قوية ومرنة، ويمكن ثنيها وطيها لأي عدد من الأشكال، وهذه الأكاسيد النحاسية هشة مثل الطباشير، وتتألف من حبيبات صغيرة جدا غير منتظمة، مما يعيق تدفق الكهرباء. وثالثتها هو أن هذه الموصلات الفائقة تميل إلى فقد قدرتها الفائقة على التوصيل، عندما تتعرض لمجالات مغناطيسية قوية بسبب تولد دوامات مغناطيسية ضمنها، مما يعيق أيضا من تدفق الكهرباء.

ومن ناحية أكثر أساسية، فإن أشد ما يثير الإحباط بالنسبة لهذه الموصلات السيراميكية الفائقة، هو أن العلماء لا يعرفون بالضبط كيف تعمل. فهذه الموصلات الفائقة عند درجات الحرارة المرتفعة تختبر حدود ما نعرفه حول نظرية الكوانتم (الكم) للمواد السيراميكية.

لقد وضع جون باردين وليون كوبر وروبرت شرايفر التفسير للجيل الأول من الموصلات الفائقة، مما أدى إلى فوزهم بجائزة نوبل (لقد كانت هذه في الحقيقة المرة الثانية التي ينال فيها باردين جائزة نوبل، فلقد فاز بها أيضا في تطوير الترانزستور). وتعتمد نظريتهم على حقيقة: أن الإلكترونات التي تتحرك ضمن شبكة، يمكنها أن تخلق اضطرابات صغيرة وتجعدات، ويمكن لإلكترون ثانٍ حُصر ضمن هذا التجعد، أن يشكل زوجا إلكترونيا مع الأول، يدعى زوج كوبر، يتغلب على التنافر الطبيعي للإلكترونات، وبحسب نظرية الكم، يمكن لأزواج كوبر هذه - بعد ذلك - أن تتحرك دون مقاومة خلال الشبكة.

ومع ذلك، فإن الجيل الثاني من الموصلات السيراميكية لا تتبع - على ما يبدو - هذا النمط البسيط، وفي الحقيقة لم يفسر أحد إلى الآن بنجاح لماذا تصبح هذه المواد السيراميكية فائقة التوصيل. ويقول حائز جائزة نوبل «فيليب أندرسون» من برنستون إن النظريات السابقة هي «كتالوج من الفشل، وقد حان الوقت لأن نفتح أذهاننا على طرق جديدة من التفكير».

من حيث المبدأ، فإن ميكانيكا الكم بالنسبة لذرات مستقلة مفهومة جدا في ضوء المعادلة الموجية لشرودنجر، ويمكن أيضا اشتقاق خصائص الشبكات البسيطة من هذه المعادلة. ولكن معادلة شرودنجر تصبح معقدة جدا بالنسبة

لمواد أكثر تركيبا مثل أكاسيد النحاس السيراميكية، بحيث لا يستطيع أقوى الكمبيوترات الفائقة حلها.

إن أحد المفاتيح لشرح هذه الموصلات السيراميكية الجديدة الفائقة هو أن بنيتها الذرية مبنية على أساس شبكات منتظمة، حيث يمكنك تصور وضع مستويات بعضها فوق بعض، بحيث تكون الإلكترونات حرة في التحرك ضمن كل مستوى، بيد أن التغيرات البسيطة في بنية الشبكة من شأنه أن يحطم القدرة الفائقة للسيراميك على التوصيل، ولسوء الحظ فلا أحد يعلم لماذا تجعل هذه البنية الشبكية المواد السيراميكية النحاسية فائقة التوصيل.

وعلى الرغم من هذه الصعوبات، إلا أن الموصلات الفائقة عند درجات حرارة مرتفعة تدخل السوق ببطء، من خلال تطبيقات متواضعة ولكنها مهمة.

قطارات الرفع المغناطيسي (ماجليف)

من المستحيل معرفة متى يمكن اكتشاف موصلات فائقة عند درجة الحرارة العادية، فليس هناك قانون للموصلات الفائقة مثل قانون مور، يمكننا من القيام بتنبؤات معقولة. قد تكتشف غدا أو لا تكتشف على الإطلاق، ومع ذلك فبحسب التطورات الثابتة الملحوظة خلال العقد الماضي، يمكن للمرء أن يتنبأ بأنه يمكن أن تكتشف مبكرا في الـ ١٥ أو ٢٠ سنة القادمة.

ولكن دولا عديدة، وحتى من دون وجود موصلات فائقة عند درجة الحرارة العادية، ستبني خلال الأعوام العشرة القادمة قطارات ماجليف أو قطارات الرفع المغناطيسي، لوصل مدنها الرئيسية بعضها مع بعض. وتسير قطارات ماجليف التقليدية ـ هذه أيضا ـ على وسادة هوائية، إلا أن ملفاتها المغناطيسية تستهلك كميات ضخمة من الطاقة، وبما أن ازدحام المواصلات في الجو وعلى الطرقات أعاق توسع التجارة، فإن قطارا يمكنه أن ينطلق بسرعة ٤٥٠ ـ ٥٠٠ كم/ساعة، يقدم طريقة مثالية لوصل مدن تبعد عن بعضها بحدود ٦٠٠ كم.

وعلى الرغم من أن تكنولوجيا قطارات ماجليف قد طورت لأول مرة منذ ٣٠ عاما في الولايات المتحدة، من قبل فيزيائيين في مختبر بروك هافن الوطني في نيويورك، إلا أن التقدم في تطويرها قد تحول بسرعة إلى اليابان

وأوروبا؛ ولقد طور اليابانيون منذ فترة قطار ماجليف يدعى MI - 500R، سجل عام ١٩٧٩ رقما قياسيا في السرعة، بالنسبة لهذا النوع من القطارات، وصل إلى ٥١٧ كم/ ساعة (على مسار اختباري يبلغ طوله ٤,٣ ميل)، ويأملون في أن يكون لديهم قطار ماجليف، يقوم برحلاته بين طوكيو وأوساكا بحلول عام ٢٠٠٥.

ولقد بنى الألمان أيضا نموذجا عاملا لقطار مغناطيسي دعي TRO7 يصل بشكل منتظم إلى سرعات بين ٤٠٠ إلى ٤٥٠ كم/ساعة، ويتألف TRO7 من عربتين تجريان على مسار اختباري بطول ٢٠ ميلا، وتخطط الحكومة الألمانية لأن يكون لديها في العمل قطار ماجليف يربط بين برلين وهامبورج بحلول عام ٢٠٠٥، بحيث يشكل لب مبادرتها لوصل ألمانيا الغربية مع الشرقية.

وفي الولايات المتحدة، اهتمت الحكومة، لفترة وجيزة، بقطار ماجليف خلال الثمانينيات، ولكن المشروع الذي دعي بمبادرة ماجليف الوطنية مات ميتة هادئة عام ١٩٩٤، بسبب عدم توافر الاهتمام المرغوب من قبل القطاع الخاص، ولكن اقتصادية قطارات الرفع المغناطيسي سوف تنقلب رأسا على عقب، إذا أمكن إيجاد موصل فائق عند درجة الحرارة العادية، وسوف تهبط كلفة صنع مغناطيسات هذا النوع من القطارات بشكل كبير. وحتى ذلك الوقت، يتوقع المرء تقدما مستمرا ولكنه غير مذهل في تطوير هذه القطارات.

الاندماج النووي: توليد طاقة الشمس على الأرض

يجب أن تكون معايير أي مصدر للطاقة في القرن الحادي والعشرين، هي الرخص والوفرة وعدم النضوب، وسيصبح الوقود الطبيعي خلال الثلاثين عاما القادمة نادرا بشكل متزايد ومكلفا، إلى الحد الذي يمنع استخدامه. وقد نرى أيضا التأثيرات التي لا تخطئها العين لظاهرة الاحتباس الحراري.

ما المصادر البديلة لطاقة غير ناضبة في المستقبل؟ يرى الفيزيائيون أن هناك ٣ احتمالات:

- طاقة الاندماج النووي.
- مفاعلات التوليد.
- الطاقة الشمسية.

وترتبط كل هذه الأنواع الثلاثة من مصادر الطاقة بقوانين فيزياء الكم ارتباطا وثيقا. إن الأمل المعقود على طاقة الاندماج النووي، هو أنها يمكن في يوم ما أن تنير مدننا بالقوة الكونية ذاتها، التي تمنح الطاقة لشمسنا وللنجوم في مجرتنا. إن الوقود الأساسي لآلات الاندماج هو ماء البحر العادي (بدلا من قشور الموز)، والذي توجد منه إمدادات كافية.

ولكن متى يمكننا أن نشهد في الأفق ظهور وحدات اندماج نووي لإنارة مدننا؟ يتنبأ هارولد فيرث مدير مختبر برنستون لفيزياء البلازما الشهير من عام ١٩٨٠ وحتى عام ١٩٩٠« قد يتمتع أحفادنا بثمار هذه الرؤية في حوالى منتصف القرن الحادي والعشرين»، ويقدر أننا سنرى الوحدات الصناعية الأولى لطاقة الاندماج خلال ٥٠ عاما.

وعلى الرغم من أنه بُولِغ لسنوات في التوقعات المنتظرة من طاقة الاندماج، فإن ما يعمل لمصلحة فيرث هو احتمال أن تبدأ حقول النفط (التي تقدم حوالى ٤٠ في المائة من طاقة العالم) بالنضوب في أوائل القرن الحادي والعشرين، وهناك حوالى تريليون برميل من الاحتياطيات المؤكدة والمحتملة، حيث يوجد ٧٧ في المائة منها في دول منظمة الأوبك و٦٥ في المائة في الخليج العربي. ولكن كلفة النفط سترتفع في أوائل القرن الحادي والعشرين، عندما يصبح استخراج النفط وتكريره أصعب. وما لم تتوافر اكتشافات جديدة مهمة، فمن المحتمل أن يبدأ سعر النفط في الارتفاع حوالى عام ٢٠٢٠، وسيصبح سعره مثبطا حوالى عام ٢٠٤٠، مع إمكان التسبب في أزمة اقتصادية عالمية ما لم تتخذ إجراءات عاجلة لمنع ذلك. وعلى الرغم من أنه من المستحيل التنبؤ بسنة محددة لبدء حدوث هذا الأمر، فإنه من المحتم أن يصبح الوقود الطبيعي - في المستقبل غير البعيد - غاليا جدا لتزويد الصناعة بالوقود.

وفي الوقت ذاته الذي ترتفع فيه كلفة النفط، سيستمر الطلب على الطاقة في الزيادة، وذلك بسبب تصنيع مناطق ضخمة من العالم الثالث. ومن المتوقع أن يتضاعف استهلاك العالم من الطاقة بواقع ثلاثة أمثاله بحلول عام ٢٠٤٠، من ١٠ إلى ٣٠ تريليون واط (حتى لو اقترحنا تحقيق وفورات كبيرة من خلال الاستخدام الأكثر كفاءة للطاقة).

ما الذي يحل محل مصادر الوقود الطبيعي هذه؟ إن الولايات المتحدة تمتلك احتياطات من الفحم الحجري تكفي ربما لـ ٥٠٠ عام، ومع ذلك يبدو أن الضرر

البيئي الناجم عن المطر الحامضي، وتأثير الغازات الناتجة عن الاحتباس الحراري ، وتلوث الهواء، تستبعد أي دور مهم للفحم الحجري في المستقبل.

وهنا يأتي دور الاندماج النووي. وبما أن هناك كميات غير محدودة من الديوتيريوم (شكل من أشكال الهيدروجين) في ماء البحر العادي، فإن الفيزيائيين في برنستون يقدرون أن لدينا ما يكفي لحوالى ١ إلى ١٠ ملايين سنة من طاقة الاندماج. ولكن طاقة الاندماج ـ لسوء الحظ وعلى الرغم من كل ما تعد به ـ لا تزال هدفا بعيدا لسبب بسيط، هو أن أنوية الهيدروجين تتنافر لأنها كلها تحمل شحنات موجبة. وللتغلب على التنافر الناجم عن الكهرباء الاستاتيكية، على العلماء أن يسخنوها وأن يصدموها ببعضها، بحيث تقترب من بعضها بشكل كافٍ لتندمج. وفي الثلاثينيات أدرك الفيزيائيون أن قوى الكوانتم ستسيطر بعد ذلك وتدمج الهيدروجين إلى الهليوم ، مطلقة كميات كبيرة من الطاقة أثناء ذلك، ولكن المشكلة هي أن درجة الحرارة اللازمة لتقريب أنوية الهيدروجين من بعضها تتراوح من١٠ إلى ١٠٠ مليون درجة، وهي أعلى بكثير من أي درجة حرارة موجودة بشكل طبيعي على وجه الأرض. لقد حُلَّت هذه المشكلة في القنبلة الهيدروجينية، عن طريق إشعال فتيل قنبلة ذرية يعمل على تسخين أنوية الهيدروجين إلى درجات عالية من الحرارة، ويقودنا هذا إلى السؤال: كيف يمكن احتواء قطعة من الشمس على الأرض بشكل آمن؟ فدرجة حرارة من ١٠ إلى ١٠٠ مليون درجة كافية لتبخير أي حاوية معروفة.

ولحسن الحظ، فقد اكتُشف تصميمان رئيسيان للاندماج يتخطيان هذه المشكلة: الأول يعتمد على المبادئ التي تحكم الشمس، والآخر على مبادئ القنبلة الهيدروجينية: فعندما يولد نجم يضغط مجال الجاذبية القوي لهذا النجم غاز الهيدروجين حتى تصل درجات الحرارة من ١٠ إلى ١٠٠ مليون درجة عند نواة النجم، وهذه الحرارة مرتفعة بما يكفي لدمج ذرات الهيدروجين ليتحول إلى هليوم، وتسبب عملية الاندماج اشتعال الهيدروجين ليشكل نجما، ويدعى هذا بالاحتجاز بالجاذبية.

ولا نستطيع على الأرض استخدام مجالات الجاذبية لاحتجاز البلازما، ولكننا نستطيع استخدام «حاوية مغناطيسية»، ويُستخدم نوع آخر من هذا التصميم يدعى «الاحتجاز المغناطيسي» في مفاعل الاندماج (توكاماك)، الذي

يعتمد على تصميم روسي صنع من قبل أندريا ساخاروف و إيفور تام في الخمسينيات، والذي قلد في كل أنحاء العالم، ففي التوكاماك الخاص ببرنستون ـ على سبيل المثال ـ يحتجز حقل مغناطيسي غاز الهيدروجين المحصور ضمن أنابيب على شكل كعكة، وتمنع الحقول المغناطيسية البلازما من صدم الجدران، التي ستتبخر عند تلامسها مع الغاز الساخن، وتلف ملفات ضخمة من الأسلاك حول أنبوب (توكاماك)، مما يخلق حقلا مغناطيسيا يحتجز غاز الهيدروجين، ثم يغذى تيار كهربائي في الأنبوب ويسخن الغاز. وفي عام ١٩٩٤ سجل توكاماك برنستون رقما عالميا جديدا مولدا ٩ ملايين واط في دفقة قصيرة من الطاقة، استمرت لأجزاء من الثانية، (وبالمقارنة تولد وحدة انشطار نووية نموذجية ١٠٠٠ ميجا واط من الطاقة بشكل مستمر تقريبا).

ويُدعى التصميم الاندماجي الثاني الذي يستخدم للقنبلة الهيدروجينية ولآلات الدمج الليزرية في مختبر ليفر مور الوطني بكاليفورنيا «الاحتجاز بالقصور الذاتي». في القنبلة الهيدروجينية تستخدم قنبلة ذرية صغيرة لتوليد دفقة من أشعة x ذات الشدة العالية، التي تستخدم بعد ذلك لضغط كتلة من ديوتيرايد الليثوم، وبينما يسخُن ديوتيرايد الليثوم تندمج ذرات الهيدروجين مشكلة الهليوم، ومطلقة الحرارة اللازمة لاندماج نووي حراري. ويستخدم مفاعل الاندماج في ليفرمور سلسلة من أشعة ليزر مصوبة على حبة صغيرة من ديوتيرايد الليثيوم لخلق الاندماج، فتبخر حزمة الليزر سطح الحبة محدثة موجة صدم تقوم بتفجير الحبة من الداخل، وتوليد ضغط وحرارة هائلين وكافيين لإطلاق عملية الاندماج.

ويستخلص التصميمان المذكوران كلاهما الطاقة من طاقة الاندماج بواسطة الماء، الذي وصل إلى درجة الغليان. إن اندماج الهيدروجين إلى الهليوم ينتج دفقا كبيرا من النيوترونات التي تخترق «غطاء» يحيط بالمفاعل ويحتوي على أنابيب يمر فيها الماء، وبينما تسخن النيوترونات الغطاء، يبدأ الماء داخل الأنابيب في الغليان، ويتحول إلى بخار يمرر بعد ذلك عبر ريشات توربين، مما يجعلها تدور كما في محطة توليد كهرباء من الفحم الحجري أو محطة كهرومائية (تدفع المغناطيسات الدوَّارة الإلكترونيات في سلك قريب، وبهذا تولد تيارا متغيرا في السلك يصل في النهاية إلى مأخذ الكهرباء في منازلنا).

تنفق الولايات المتحدة حاليا حوالى ٣٧٠ مليون دولار كل عام على بحوث الاندماج. كما ينفق كل من اليابان وألمانيا ما يزيد على ذلك بنحو ٤٠ في المائة. إن هدف التوكاماك وكذلك الاندماج بالليزر هو الوصول إلى نقطة التكافؤ، أي النقطة التي تعادل فيها الطاقة المطلقة كمية الطاقة المستهلكة. وحتى الوقت الحاضر، لم يصل أي من التصميمين إلى هذه النقطة. والمشكلة في تصميم التوكاماك هو أن غاز البلازما الساخن، الذي يدور في الكعكة له مجاله المغناطيسي الخاص به، الذي يتداخل مع المجال المغناطيسي الرئيسي في التوكاماك، ويضخم هذان المجالان المغناطيسيان مع بعضهما تيارات الدوامات الصغيرة أو العيوب في المجال، وتسبب هذه بدورها تسرب البلازما. وحتى الآن لم يتمكن أي من التصميمات المختلفة من المحافظة على البلازما بدرجة مرضية من الاستقرار لما يكفي من الزمن. ويدعى المتطلب الدقيق للاندماج معيار (لوسون)، والذي لم تتم حتى الآن تلبيته، (ينص معيار لوسون على أن التفاعل الاندماجي المستمر والمتواصل بذاته يحدث عندما يتجاوز حاصل ضرب كثافة الجسيمات في زمن الاحتجاز $١٠^{-٤}$ ثانية لكل سم٣)، وفي كل مرة نرى فيها الشمس والنجوم، أو نستعرض فيها صورا لانفجارات نووية حرارية، فإننا نرى نسخة من معيار (لوسون) يُلبى على المستوى الكوني.

وفي عام ١٩٧٧ تعرض برنامج الاندماج لتراجع مفاجئ بإغلاق مختبر التوكاماك في برنستون، وذلك بسبب تخفيض الميزانية. إن الخطوة الكبيرة التالية في الاندماج ستكون المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي، وهو مشروع مشترك بين روسيا واليابان والاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية، وبدلا من التشغيل لأجزاء قليلة من الثانية، فإن هذا المفاعل سيبقي عملية الاندماج مستمرة لآلاف الثواني، ولأننا نحرز تقدما ثابتا نحو الوصول إلى معيار لوسون وإلى نقطة التكافؤ، فإن الفيزيائيين في مختبر البلازما في برنستون أجروا تقديرات تقريبية حول موعد استخدام طاقة الاندماج في تزويد مدننا بالطاقة.

بحدود عام ٢٠١٠: بناء وحدة اندماج ITER بطاقة قدرها ١٠٠٠ ميجا واط.

بحدود عا م٢٠٢٥: اختبار تشغيل وحدة اندماج نووي.

بحدود عام ٢٠٢٥: وحدة الاندماج التجارية الأولى.

عام ٢٠٥٠: انتشار استخدام وحدات الاندماج التجارية.

الاندماج مقابل الانشطار

أظهرت استفتاءات الرأي العام أن هناك تحفظات مهمة حول طاقة الانشطار، التي تشتق طاقتها من شطر ذرة اليورانيوم أو البلوتونيوم. لقد قرأ الجمهور حول الكوارث التي وقعت في ثري مايل آيلاند وفي تشرنوبل، والمشكلات غير المحلولة بالنسبة للنفايات النووية والتجارب الإشعاعية، التي طبقت على مواطنين أبرياء في الأيام الأولى من البحث النووي، ومواقع الأسلحة النووية الـ ١٧ التي تتفكك، والتي تحتاج إلى ٥٠٠ مليون دولار لتنظيفها.

يتمتع مفاعل الاندماج بمزايا عدة على مفاعل الانشطار. فأولا لن ينتج مفاعل الاندماج أطنانا من مخلفات نووية عالية الإشعاع سنويا، كما تفعل مفاعلات اليورانيوم، التي تعتمد على الانشطار: فالنفايات الوحيدة من مفاعل الاندماج قد تكون الغطاء الفولاذي، الذي يصبح مشعا تدريجيا، والهيدروجين المشع الذي يمكن له أن يتسرب. وهذه ميزة مهمة لأن النفايات النووية من وحدات الانشطار ضخمة جدا، على سبيل المثال، تنتج وحدة انشطار نووي ضخمة بقدرة ١٠٠٠ ميجا واط حوالى ٣٠ طنا من النفايات عالية المستوى كل عام، وهناك أكثر من ١٠٠ من هذه الوحدات التجارية في الولايات المتحدة. إن مثل هذه النفايات النووية ستكون خطرة على الحياة لآلاف بل لملايين السنين.

وثانيا فإن مفاعلات الاندماج لا تتعرض لعملية الانصهار: ففي المفاعلات الانشطارية يبقى اللب النووي ساخنا لشهور بعد إيقاف عملية الانشطار، وقد يسبب هذا انصهار اللب (كما حصل تقريبا في ثري مايل آيلاند)، ويمكن أن تسبب حادثة كهذه إطلاقا خطرا من الإشعاع، إذا استمر اللب في الانصهار خلال وعائه. وبالمقابل فإذا قطع أحدهم بالمصادفة الحقل المغناطيسي لوحدة اندماج وإذا تسرب الغاز الساخن جدا، فإنه قد يذيب جزئيا الهيكل الحاجز، ولكن عملية الاندماج تتوقف بعد ذلك؛ لأن معيار لوسون لم يعد ينطبق، وتنتهي الحادثة.

وثالثا لا يمكن لمفاعل اندماجي أن يصل إلى المرحلة فوق الحرجة، كما في حالة القنبلة الذرية؛ ففي مفاعل انشطار يمكن لتدفقات صغيرة من الطاقة (تدعى الطاقة الانتقالية) أن تخرج من السيطرة، إذا ازداد عدد النيوترونات بشكل سريع جدا (كما حدث في حالة تشرنوبل). ومع ذلك يشترك مفاعل الاندماج مع مفاعل الانشطار في سيئة واحدة. فالإشعاع النيوتروني الذي يحدثه كلا المفاعلين

قوي بما يكفي لإضعاف الحاوية المعدنية محدثا (تصدعا هشا) فيها، ويمكن أن تتراكم تصدعات مجهرية صغيرة ناجمة عن صدم النتيرونات للذرات في الشبكة المعدنية وإخراجها منها، مما قد يؤدي إلى انهيار الحاوية المعدنية.

ولا يزال من السابق لأوانه الحديث عن مساوئ ومحاسن مفاعلات الاندماج بشكل نهائي؛ لأنها غير موجودة في الوقت الحالي. وما لم يُبنَ مفاعل اندماج تجريبي وعامل، والذي ربما تم بحدود عام ٢٠٢٥، فإن أي تحليل حاسم حول مشاكله المحتملة لا يزال مبكرا.

مفاعلات التوليد والإرهاب

إن المصادر الأخرى غير الناضبة الممكنة لتزويد الطاقة هي مفاعلات التوليد والطاقة الشمسية. وربما كانت مفاعلات التوليد أكثر مصادر الطاقة حساسية سياسيا. لقد تنبأ محللون في وكالة الطاقة الذرية في الخمسينيات أن الولايات المتحدة في حاجة إلى ١٠٠٠ مفاعل تقليدي و١٠٠٠ مفاعل توليد بحدود عام ٢٠٠٠، ولكن الولايات المتحدة لا تمتلك اليوم إلا أكثر بقليل من ١٠٠ مفاعل تقليدي، وليست لديها مفاعلات توليد.

إن الميزة الكبرى لمفاعلات التوليد هي أنها تنتج أو «تولّد» البلوتونيوم القابل للانشطار من اليورانيوم المستهلك، ولكن هذا الأمر هو الذي يسبب المشكلة في استخدام مفاعلات التوليد، فهي تعمل على وقود مخصب بدرجة كبيرة، وقد يسبب هذا حدوث مشكلات حرجة، واحتمال السطو أو التخريب أيضا.

في أوائل العصر النووي بدت مفاعلات التوليد جذابة بسبب «لمستها السحرية»، فهي تستطيع تحويل اليورانيوم ٢٣٨ المستهلك إلى البلوتونيوم ٢٣٩ القابل للانشطار. ففي مفاعل التوليد، يمتص اليورانيوم ٢٣٨ المستهلك تدريجيا سلسلة من النيوترونات، وبعد «طبخه» في مفاعل عدة أشهر، يتحول معظم اليورانيوم المستهلك إلى نيبتونيوم، وأخيرا إلى بلوتونيوم ٢٣٩.

ولكن مفاعلات التوليد خيبت الآمال المعقودة عليها، فلقد انصهر أول مفاعل توليد في الولايات المتحدة، والذي يدعى مفاعل التوليد التجريبي EBR-I (وهو المفاعل الأول المولد للطاقة الكهربائية) عام ١٩٥٥ في أحد أوائل حوادث المفاعلات النووية. وقد تحطم حوالى ٤٠ إلى ٥٠ في المائة من

يورانيوم نواته في هذا الانصهار. وكان مفاعل التوليد الرئيسي الثاني هو المفاعل التجاري المدعو فيرمي ـ ١، والذي أقيم بالقرب من ديترويت. لقد سبب هذا المفاعل حالة طوارئ رئيسية عندما انصهر جزئيا عام ١٩٦٦، بعد أن انصهر ٢ في المائة من لبه، عندما اعترضت قطعة من الزركونيوم بحجم علبة البيرة طريق الصوديوم المبرد، ولتعرضه لمشكلات عديدة مثل الانفجارات الصوديومية، فقد أغلقت الوحدة في النهاية. وكان مفاعل التوليد كلنش ريفر خليفة فيرمي ـ١، ولكنه أغلق في النهاية من قبل الكونجرس عام ١٩٨٣.

ولم يكن اليابانيون والفرنسيون الذين يتبعون ـ بكل نشاط ـ سياسة تطوير مفاعلات توليد ناجحين أيضا. ولأنه يجب معالجة الوقود كيمياويا بمذيبات متطايرة لاستخلاص البلوتونيوم، فهناك خطر الحرائق التي حدث العديد منها في وحدة المعالجة Hague بفرنسا، والتي تخدم مفاعل سوبرفينيكس. ولقد عانى اليابانيون أيضا تسربا رئيسيا للصوديوم عام ١٩٦٦ في مفاعل التوليد في مونجو، وقد سبب التعتيم اللاحق على هذا الحادث إحراجا شديدا للحكومة (ولمفارقات القدر، فإن مونجو تعني «حكمة» في اليابانية). وفي عام ١٩٧٧ حدث انفجار كبير في وحدة توكيمورا. إن إحدى المخاطر بالنسبة لمفاعل التوليد هو أنه هدف رئيسي للارهابيين، بسبب كميات البلوتونيوم التي ينتجها، وليس البلوتونيوم أحد أكثر المواد المعروفة في العلم سُمية فقط، فإن ٢٠ ـ ١٠ باوند منه تكفي لصنع قنبلة نووية صغيرة، ونتيجة لذلك فهناك تخوف كبير حول برنامج مفاعلات التوليد.

وإضافة لذلك، فإن شحن البلوتونيوم عملية خطرة جدا أيضا، وفي عام ١٩٩٥ أثارت شحنة ٢٠٠ طن بلوتونيوم من وحدات إعادة المعالجة في فرنسا إلى اليابان احتجاجا عالميا، وهي تبحر في المياه الدولية مثيرة إمكان حدوث إرهاب وحوادث. ولأنه من غير الممكن استخدام مفاعلات نووية في السيارات والشاحنات، فإن الطاقة النووية لا يمكن أن تلبي سوى جزء بسيط من الاحتياجات الكلية للطاقة (بما أن الطاقة النووية لا تولّد سوى الكهرباء، فإنها تحل محل وحدات الطاقة المزودة بالفحم الحجري بشكل رئيسي، ولا تؤثر إلا قليلا في النفط، الذي يستخدم بشكل رئيسي للنقل والتسخين). وبوجود الفائض الحالي من اليورانيوم في السوق العالمية ومشكلات الأمان

لمفاعلات الانشطار بعد حادثتي ثري مايل آيلاند وتشرنوبل، وارتفاع كلفة وحدات الطاقة النووية، وزيادة مقاومة المستهلك لها، فربما كان من الحكمة ترك اليورانيوم في الأرض.

وهنا تأتي الشمس

ربما كانت الطاقة الشمسية هي الحل الواعد لمشكلة الطاقة في المستقبل، وتستخدم الخلايا الشمسية (والتي تدعى عادة الخلايا الفوتوفولتية) مبدأ آخر من فيزياء الكم. لقد لوحظ بحلول القرن العشرين أن الضوء الذي يسقط على معادن معينة، يولد تيارات كهربائية ضعيفة، ولقد كان أينشتَين أول من شرح هذه العملية، موضحا أن جسيما من الضوء دعي «الفوتون» يسقط على المعدن، ويؤدي إلى تحريض إلكترون ليخرج من الذرة. وقد نال أينشتَين جائزة نوبل في الفيزياء عن معادلاته التي تشرح التأثير الكهروضوئي (من الواضح أن النظرية النسبية لأينشتَين كانت غريبة جدا لكي تُقدَّر من قبل لجنة جائزة نوبل السويدية المحافظة!). إن التأثير الكهروضوئي هو العملية ذاتها التي تعمل عليها كاميرات التلفزيون: فالضوء الذي يسقط على «شبكية» آلة تصوير الفيديو يصدر إلكترونات تولد تيارا كهربائيا، وتحول الخلايا الشمسية الضوء من الشمس إلى كهرباء بالطريقة ذاتها. ومن حيث المبدأ فإن الطاقة الشمسية غير محدودة، فالأرض تتلقى كل عام طاقة تقدر بـ ١٥ ألف مرة من كمية الطاقة المستهلكة من كامل سكان العالم، وكل هذه الطاقة مجانية. ويتوقع وليام هوجلاند من المعمل الوطني للطاقة المتجددة في جولدن بكولورادو، (والذي قدر بتفاؤل أن الطلب على الطاقة في العالم سيرتفع عام ٢٠٢٥ بمعدل ٢٦٥ في المائة) أن ٦٠ في المائة من كهرباء العالم، بحلول ذلك الوقت، ستأتي من الشمس، ولكن كلفة تسويق الخلايا الشمسية كانت مع ذلك عالية جدا دوما، ومن جهة أخرى فإن كفاءة الخلايا الشمسية كانت بحدود ١٥ في المائة فقط (الرقم المسجل لكفاءة الخلية الشمسية هو ٣٠ في المائة) بكلفة ١٠ سنتات لكل كيلو واط/ساعة، وبذا فإن الطاقة الشمسية هي على وشك أن تصبح منافسة للفحم والنفط.

وعلى الرغم من كل ذلك، فإن هذا كله سيتبدل في القرن الحادي والعشرين، فثمن الكهرباء الشمسية سينخفض بشدة، نتيجة التطورات الجديدة في التكنولوجيا، ومع الإنتاج الضخم للخلايا الشمسية. في الثمانينيات، على سبيل المثال، انخفض سعر الخلايا الكهروضوئية بمعدل ٤٠ مرة، ويشير دعاة التكنولوجيا الشمسية إلى أن الآلات الحاسبة اليدوية كان ثمنها ٣٠٠ دولار، عندما أنتجت لأول مرة، أما اليوم، فمع الإنتاج الضخم للشرائح، هبط السعر بمعدل يعادل ١٠٠ مرة تقريبا.

لقد ادعى مؤيدو الطاقة الشمسية دوما، أن ما يلزم هو انطلاقة البداية لدفع الطاقة الشمسية إلى تحقيق النجاح المرجو لها، ويشيرون إلى أن الطاقة النووية في الولايات المتحدة دفعت في البداية بدعم مقداره ١٠٠ بليون دولار، قدمته الحكومة الفيدرالية للبحث الأساسي وكمعونات لرجال الأعمال العاملين بدورة وقود اليورانيوم.

ولكن من غير المحتمل أن تأتي انطلاقة هذه للطاقة الشمسية من الحكومة الفيدرالية بحسب المناخ السياسي السائد حاليا، ومع ذلك بدأت شركتان تجاريتان في عام ١٩٩٥ هما: شركة أنرون، وهي أكبر شركة لتوريد الغاز الطبيعي، ومؤسسة أموكو، التي تمتلك سولاريكس وتنتج خلايا شمسية، بدأتا مشروعا مشتركا لتزويد مدينة كاملة من ١٠٠ ألف شخص بالكهرباء الشمسية، وقد ادعتا أن الوحدة الشمسية التي تكلف ١٥٠ مليون دولار، والتي يقومان ببنائها، ستتمكن من تزويد الكهرباء بسعر ٥ سنتات لكل كيلو واط /ساعة، وهو أرخص بحوالى ٣ سنتات من وحدات الوقود الطبيعي. ويقول روبرت وليامز من جامعة برنستون «إذا نجحتا في ذلك فيمكن إحداث ثورة في الصناعة بكاملها، ولكنهما إن فشلتا، فإن هذه التكنولوجيا سترجع ١٠ سنوات إلى الوراء».

ومع كل عام، تصبح اقتصادات الطاقة الشمسية ملائمة بشكل أكبر، بينما ترتفع كلفة طاقة الانشطار، وتتنامى مشكلات حرق الوقود الطبيعي، ومع زيادة كفاءة الطاقة ووجود وقود بديل (مثل طاقة الرياح والطاقة الجوفية الحرارية، والتوليد المشترك...إلخ)، فإن الطاقة الشمسية ستستمر حتما في النمو والازدهار في القرن الحادي والعشرين، على الرغم من تلكؤ السياسيين في دعمها.

السيارة الكهربائية / السيارة المهجنة

لم يكن واضحا عند بداية القرن العشرين ما إذا كانت السيارة التي تسير بالبخار أو بالكهرباء أو بالبنزين، هي التي ستسود في النهاية. على سبيل المثال، وجد في ميشجان عام ١٨٩٥ كل الأنواع الثلاثة من السيارات بأعداد متساوية تقريبا، ولقد كان هناك تنافس ودي بين توماس أديسون وهنري فورد حول أي نوع من السيارات سيربح في النهاية: السيارة التي تعمل بالكهرباء أم بالبنزين.

لقد أصبح البنزين بعد ٢٠ عاما هو الرابح بكل وضوح. إن سبب استمرار تفوق محرك البنزين على المحاولات الحالية للسيارات الكهربائية بسيط فإذا قورنا أونصة فأونصة، فإن البنزين يحتوي على ١٠٠ مرة من الطاقة المخزونة في البطاريات الكهربائية، وهذا هو السبب الذي جعل السيارات الكهربائية تتأخر عن السيارات التي تسير بالبنزين (وعلى سبيل المثال فإن بطارية رصاص حمضية عادية تحتوي على ٢٥ ـ ٤٠ واط/ ساعة فقط لكل كيلو جرام من البطارية)، ونتيجة لذلك، فإن المسافة التي تقطعها معظم السيارات الكهربائية هي بحدود ١٠٠ ميل أو حوالى ثلث ما تقطعه سيارات البنزين، وتحتاج من ٣ إلى ١٠ ساعات لإعادة شحنها. ويمكن لبعض البطاريات مثل بطاريات نيكل ـ هايدرايد المعدن، أن تجعل السيارات الكهربائية تقطع ٣٠٠ ميل بشحنة واحدة ـ وهذا أبعد من المسافة التي يقطعها عدد من السيارات التي تسير بالبنزين ـ ولكنها لا تعطي تسارعا عاليا (الرقم العالمي الذي سجل عام ١٩٩٦ هو ٣٧٣ ميلا من دون إعادة الشحن)، وبالعكس، فإن البطاريات التي تعطي تسارعا جيدا، لا تمكن السيارة من قطع مسافة كبيرة.

ومع ذلك فقد يصبح محرك الاحتراق الداخلي من بين أوائل ضحايا القرن الحادي والعشرين. السيارة المتوسطة، التي تسير بالبنزين تستهلك ٣ آلاف جالون في حياتها، وتنفث ٣٥ طنا من الكربون في الهواء، مساهمة في التلوث والأمطار الحمضية والاحتباس الحراري. وتنتج السيارات و وسائل النقل الأخرى أكثر من نصف التلوث في المناطق المأهولة وربع الغازات الناتجة عن الاحتباس الحراري، وتستهلك السيارات ـ في الحقيقة ـ نصف النفط المستهلك في الولايات المتحدة الأمريكية. ربما كان البديل الأكثر جاذبية

لمحرك الاحتراق الداخلي في أوائل القرن الحادي والعشرين هو سيارة الكهرباء/الهجين، التي ستستخدم أجهزة كمبيوتر راقية داخل السيارة من أجل التحكم في العناصر المختلفة، وهي تكتسب بسرعة شعبية لدى مصممي السيارات. وتوجد منذ فترة تصاميم يمكن أن تستخدم بصورة اقتصادية للسفر في المدينة، حيث تكون معظم الرحلات لمسافات قصيرة. وخلال العقد القادم يتوقع أن تنافس محركات كهربائية/مهجنة أداء محركات الاحتراق الداخلي، وأن تصبح جزءا دائما من المنظر المديني، وقد تمهد الطريق للسيارة الكهربائية الكاملة.

وتكتسب السيارة المهجنة مزية الطرق العديدة، التي يمكن بواسطتها ترتيب البطاريات والمحركات ومقود السيارة ومحركات الغاز الصغيرة. وفي أحد التصاميم تستخدم بطارية كهربائية من أجل حركة السير داخل المدن، التي تضطر فيها السيارة إلى السير، ثم التوقف مرارا في حركة المرور المزدحمة بها، حيث يكون التحمل غير مهم. فعندما تعمل السيارة وهي في مكانها، تتحول طاقتها بسرعة إلى عجلة دوارة تدور بسرعة، وبهذه الطريقة تخزن بهدوء كمية كبيرة من الطاقة بواسطة العجلة الدائرة حتى في أثناء توقفها في زحمة المرور أو عند إشارة ضوئية. (لقد استطاعت محركات مصنوعة من مواد تركيبية جديدة الوصول إلى معدلات دوران تعادل١٠٠ألف دورة/ ثانية، مما يسمح لها بأن تخزن كميات كبيرة من الطاقة الحركية)، ثم عندما تكبس على دواسة السرعة تتعشق العجلة الرئيسية، وتنتقل الطاقة بعد ذلك فورا إلى عجلات السيارة، مما يسبب تسارعا فوريا وهو أصعب شيء يمكن للبطاريات أن تقدمه. ومن أجل السفر لمسافات طويلة، فإنك ستدير ببساطة محرك الاحتراق الداخلي الصغير والمصمم لإطلاق كميات من الهايدروكربونات وأول أكسيد الكربون، أقل بكثير من المحركات التقليدية، وهناك تصميم بديل، وهو أن تجعل محرك الاحتراق الداخلي الصغير يغذي الطاقة إلى بطارية كهربائية، وإلى محرك كهربائي يقوم بدوره بدفع السيارة.

ويمكن للسيارة الكهربائية المهجنة أن تستفيد من استخدام المواد المنتَجة بالتكنولوجيا الراقية، التي تستخدمها وكالة ناسا لتصنيع الجيل التالي من سفن الفضاء، فسيارة إسرو السويسرية، على سبيل المثال والمصنعة من الألياف المخلقة هذه، سجلت رقما جديدا مدهشا وهو ١٢٠ إلى ١٥٠ ميلا لكل جالون من

البنزين، وهي تزن ٨٨٠ باوند فقط وتتسع لشخصين، مما يجعلها مثالية للاستخدام في المدن. وإذا أُدخل هذا التصميم الأساسي ضمن السيارة الكهربائية المهجنة، فإنه سيزيد المسافة التي تقطعها كما سيرفع كفاءتها.

وبحلول عام ٢٠١٠ يمكن أن تصبح السيارة الكهربائية المهجنة أكثر جاذبية، نتيجة لنوع آخر من التصميم مبني على مكثفات فائقة وخلايا الوقود. وقد استخدم كلاهما بنجاح في برنامج الفضاء في الولايات المتحدة الأمريكية. وبشكلها الأبسط، فإن المكثفات ليست سوى ألواح متوازية تخزن الشحنة الكهربائية، ولكن التطورات الحديثة في هذه التكنولوجيا أسفرت عن مكثفات فائقة مصنعة من الكربون ومن محلول كهربائي، ويمكنها أن تنافس القدرة الكهربائية للبطاريات العادية.

وبالمثل، فإن خلية الوقود جهاز متطور يعد بكفاءات أكبر بالنسبة للسيارة الكهربائية؛ فخلية الوقود على النقيض من بطاريات الحمض والرصاص نظيفة من التلوث تقريبا. فالبطاريات الكهربائية تحتاج إلى إعادة شحن يتطلب بدوره محطة للطاقة الكهربائية قد تلوث البيئة، أما خلايا الوقود فهي بالمقابل تولد طاقتها الخاصة عن طريق تفاعل الهيدروجين والأكسجين وإطلاق الطاقة والماء في أثناء العملية. إن خلايا الوقود جذابة لأن معدل كفاءتها ٤٠ في المائة، وهو ضعف معدل كفاءة محرك الاحتراق الداخلي.

ولكن لسوء الحظ، فإن لخلايا الوقود مشكلات خاصة بها، ويجب حلُّها قبل أن تنتج بشكل ضخم وتسوق للجمهور. فهي لا تزال مكلفة، وأيضا فإن للهيدروجين إمكان تفجر كبير، ويجب التعامل معه بحذر. لكن اقتصاد هذا المزيج من مصادر الطاقة، الذي يضم الشمس والهيدروجين والكهرباء، فضلا عن الوفر الناتج عن الإنتاج الكبير من شأنهما أن يجعلا مثل هذه المصادر تلقى إقبالا بحلول عام ٢٠١٠. وفي الواقع أعلنت ديلمر بنز عام ١٩٩٦ أنها تتوقع بيع أول مرسيدس بخلايا وقود عام ٢٠٠٦.

على الرغم من أن المشكلات الفنية للسيارات الكهربائية في سبيلها للاختفاء سريعا، فإن العقبة الرئيسية أمام السيارة الكهربائية المهجنة هي مقاومة دوائر صناعة النفط والسيارات، والتي شنت حملة عنيفة عام ١٩٩٦، ونجحت في الحيلولة دون صدور قانون في عام ١٩٩٠ في كاليفورنيا، يقضي بأن تصل نسبة العادم المنبعث من السيارات إلى الصفر. كما أن حصص

انبعاث العادم في عام ١٩٩٨ وعام ٢٠٠١ قد ألغيت أيضا، ولم يُترك سوى البند الذي ينص على أن يكون المستهدف هو أن يكون ١٠ في المائة من السيارات في كاليفورنيا من النوع الذي لا تنبعث منه عوادم بحلول عام ٢٠٠٣. ومع ذلك، إذ لم يُؤجل الموعد النهائي وهو عام ٢٠٠٣، أو يُعدَّل نتيجة ضغط صناعة السيارات، فإن هذا من شأنه أن يؤدي إلى زيادة كبيرة في عدد السيارات الكهربائية التي تسير على الطرق.

ويقدر دانييل سبيرلنج ـ مدير معهد دراسات المواصلات في جامعة كاليفورنيا في ديفيس ـ أن عدد السيارات الكهربائية يمكن أن يرتفع بحلول عام ٢٠١٠ إلى الملايين، وعلى الأخص عندما يبدأ المنافسون الأجانب في تسويق نسختهم من السيارة الكهربائية المهجنة.

الجيل التالي من الليزر

الليزر هو أحد الاختراعات العظيمة التي تدفع ثورة المعلوماتية قدما، حيث إن لديه القدرة ـ منذ فترة ـ على إرسال بلايين المخابرات الهاتفية على حزم ضوئية باستخدام الألياف البصرية. وإضافة إلى الاتصال عن بعد، فإن الصناعات الأخرى التي نشأت أو طورت جذريا بواسطة الليزر، تتضمن الطباعة بالليزر وأسطوانات الليزر المدمجة والجراحة بالليزر وآلات القطع بالليزر المستخدمة في الصناعة. وقد يفتح الجيل التالي من الليزر مجالات جديدة تماما، عندما يصبح مجهريا وعملاقا أيضا، وقد يؤدي الليزر في النهاية إلى أن تزدان غرف معيشتنا بتلفزيون ثلاثي الأبعاد.

ويشكل الميكرو ليزر ـ كما رأينا في الفصل الخامس ـ الحلقة الرئيسية في أجهزة الكمبيوتر البصرية، التي تتمتع بميزات عدة لا مراء فيها عن الأجهزة المبنية على السيليكون. ولكن أجهزة الكمبيوتر الضوئية اليوم لا تزال ضخمة، إلى حد ما، وضعيفة الطاقة نسبيا، وذلك بسبب حجم الليزر والترانزستورات البصرية بشكل رئيسي، ولكن هذا قد يتغير في أوائل القرن الحادي والعشرين.

ويعتمدالجيل الحالي من الليزر المستخدم في الأسطوانات المدمجة، وفي الاتصالات بالألياف الضوئية، على ديود ليزري من أشباه الموصلات، وهو إحدى قطع العمل الرئيسية في صناعة الإلكترونات. والمشكلة هي أن هذه

الديودات الليزرية أكبر بمئات المرات من الترانزستورات السيليكونية الجزيئية ، التي تنتج عادة من قبل صناعة الكمبيوتر (قد يبلغ عرض ديود ليزري نموذجي حوالى ٢٥٠ ميكرونا). إن أشباه الموصلات البصرية هي الآن عند المستوى الذي كانت عليه الترانزستورات السيليكونية في الخمسينيات.

وتكنولوجيا النقش الضوئي نفسها التي أنتجت المعالجات الدقيقة في السبعينيات والثمانينيات، هي التي يجري استخدامها الآن لنقش الميكروليزر لعالم الغد. وتبدأ العملية برش جزيئات زرنيخات الألمنيوم أو زرنيخات الجاليوم على شريحة سيليكونية، ويمكن لهذه الرشات الجزيئية أن تصنع طبقات لا يتجاوز سمكها ذرة واحدة على الشريحة، وقد يحتوي ميكروليزر نموذجي حتى ٥٠٠ طبقة مستقلة. بعد ذلك تستخدم حزمة ضوئية لنحت أخاديد على هذه الطبقات بواسطة النقش الضوئي، خالقة مجموعة من المكيروليزر على شكل علبة الكوكاكولا. في عام ١٩٨٩ أجريت التجارب المثيرة الأولى للميكروليزر بنجاح، من قبل علماء عملوا بشكل رئيسي في معامل بيل، لقد استطاعوا صنع (مليون ليزر) على شريحة أصغر من ظفر الإصبع، وبحجم يعادل حجم البكتيريا، صُفت هذه الميكروليزرات بالبلايين في صفوف تشبه البراميل المرتبة بعناية، وقد تمكن العلماء من صنع ميكروليزرات بعرض ١ ـ ٥ ميكرونات، ويعتقدون أن الحد الفيزيائي النهائي لحجم الميكروليزر قد يكون حوالى ثلث ميكرون (هذا الحد ناجم عن أن حجم الميكروليزر يجب أن يكون أكبر من طول موجة شعاع الليزر، فإذا كان الميكروليزر أصغر من طول الموجة، فإن المادة لن تلتصق بشكل جيد. لقد كان طول موجة شعاع الليزر المستخدمة في هذه التجارب يبلغ ميكرونا، وبسبب انكسار الضوء، فإن طول الموجة داخل زرنيخ الجاليوم هو في الواقع أصغر من ميكرون أو حوالى ٠,٣ ميكرون، والذي ربما كان الحد النهائي لهذا النوع من الميكروليزر).

ولا يزال هذا أكبر من حاجز النقطة واحد، الذي يواجه المعالج الجزيئي السيليكوني، والذي يبلغ حجمه ٠,١ ميكرون، ولذا فإن الميكروليزر لا يحل حاجز النقطة واحد. ولكن بما أن أشعة الليزر يمكنها أن تتقاطع مع بعضها من دون جهد، فيمكن صنع الكمبيوتر البصري على شكل مكعب، مما يزيد كثيرا من قدرته، وبما أن الحرارة المولدة من الميكروليزر صغيرة جدا، فإن

الحرارة من الليزر البصري هي أدنى ما يمكن، مما يسمح بتصغير مستمر للكمبيوترات الشخصية.

وعلى الطرف الآخر من حيث الحجم، هناك آلات ليزر عملاقة مثل ليزر أشعة إكس. إن مزية الليزرات بأشعة إكس هي إمكان تخزين معلومات أكثر بكثير عليها، فكلما زاد التردد، نقص طول الدفقات الرقمية التي يمكن حملها بواسطة شعاع الليزر، وبهذه الموجة القصيرة (وهي أكبر بقليل من حجم الذرة)، فيمكن لهذه الليزرات أن تخدم مجالا واسعا من الاستخدامات الصناعية. ويمكن لليزرات أشعة إكس أن تحفر خطوطا دقيقة على المعالجات السيليكونية المتناهية الصغر، مما يسمح ربما بكسر حاجز النقطة واحد. إضافة إلى ذلك، بما أن لأشعة إكس أطوال موجة قصيرة، فقد يكون باستطاعة ليزرات أشعة إكس إيضاح العالم الميكروسكوبي للبكتيريا والفيروسات بتفصيل أكبر، مما يكشف لنا عن البنية الذرية لهذه الكائنات الحية.

وكما أوضحت في الفصول السابقة، هناك مع ذلك مشكلات لليزرات أشعة إكس، فأشعة إكس قوية، ومن الصعب التعامل معها، وبما أنها لا تنعكس جيدا، فمن الصعب إيجاد مرايا يمكنها تركيز هذه الطاقة. والمشكلة الأخرى هي أن شعاع الليزر يتضخم عادة بانعكاسه إلى الأمام والخلف بين مرآتين متوازيتين، حتى يتسرب في النهاية خارج إحدى المرايا. ولأن أشعة إكس تخترق بشدة، فإن ليزرات أشعة إكس لا تمتلك هذه الميزة. إن أحد التوجهات لحل مشكلة التضخم، هو تصميم منبع طاقي كبير جدا، بحيث لا تكون هناك حاجة إلا إلى عبور واحد. إن أحد الحلول هو ليزر أشعة إكس مُولّد نوويا، والذي كان في الأصل محور مقترح برنامج حرب النجوم، الذي لم يحالفه التوفيق من قبل الرئيس رونالد ريجان. إن نبضا من أشعة إكس من قنبلة هيدروجينية قوي جدا، بحيث إن عبورا واحدا له خلال قضبان نحاسية كاف لإحداث شعاع ليزري بأشعة إكس. ولسوء الحظ فهناك مشكلات فنية ضخمة في توليد ليزر بأشعة إكس للاستخدامات التجارية، إضافة إلى مشكلة إشعال فتيل قنبلة هيدروجينية. وتتمثل الطريقة الثانية في تطوير الليزرات العملاقة الحالية في مختبر ليفر مور الوطني، وعلى الرغم من أن هذا الحل عملي أكثر لمشكلة ليزر أشعة إكس، فإنه غير عملي جدا للتطبيقات التجارية بسبب حجم هذه الليزرات، التي تقترب من حجم ملاعب لكرة القدم، وبسبب كلفتها الضخمة.

والطريقة الأخرى التي قد يؤثر فيها الليزر في حياتنا، هي استخدامه في صنع تلفزيون ثلاثي الأبعاد ليحل محل التلفزيون التقليدي ثنائي الأبعاد. ويمكن لمثل هذا التطور التكنولوجي أن يبدل في النهاية الطريقة التي نرى بها برامج التسلية في التلفزيون. وعلى الرغم من أن التلفزيون المجسم لا يزال بعيدا لعدة عقود، فإن الطرائق لذلك فنية بحتة أكثر منها فكرية أو تصميمية. وتستخدم المجسمات حقيقة أن حزمتين من أشعة الليزر يمكن أن تصطدما على لوح تصويري شفاف، وتخلقا نمطا تداخليا (تحتوي إحدى الحزمتين الصورة، والأخرى حزمة مرجعية مرتبطة بالحزمة الأولى)، ويلتقط نمط التداخل المؤلف من دوامات صغيرة وخطوط شبكة عنكبوتية على لوح التصوير. وعندما تطلق حزمة ليزرية ثانية ـ خلال هذا اللوح ـ تكتمل الصورة ثلاثية الأبعاد للحزمة الأصلية بدقة، ويمكن قراءة هذه الصورة على جهاز كمبيوتر، إذا كان بإمكانه التعرف على الموجات الثلاث. وبالتالي إعادة إنتاج الصورة الأصلية ثلاثية الأبعاد.

وقد يبدو جهاز التلفزيون ثلاثي الأبعاد في المستقبل ككرة بلورية ضخمة، بحيث يرى الإنسان، عندما ينظر داخل الكرة، صورا بأبعاد ثلاثة ترقص داخلها، أو قد يكون على شكل شاشة حائطية، حيث يجلس المشاهد في مكان ما ويراقب حركة الناس على الشاشة، ومن الممكن بناؤه على شكل قبة بحيث يمكن للمرء أن يرى صورا على مدى الـ ٣٦٠ درجة. وفي الوقت الحالي، فإن التلفزيون ثلاثي الأبعاد غير ممكن بسبب الذاكرة الضخمة اللازمة لتخزين الصور المجسمة، وقد صنَّع مختبر الوسائط في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا بعض النماذج الأولية لصور مجسمة باستخدام الكمبيوتر، ولكنها خادعة إلى حد ما: فالصورة تكون مشوهة قليلا، بحيث لو حركت رأسك يمنة أو يسرة، فإن الصورة تتغير كما هو متوقع، ولكن إذا حركت رأسك من أعلى إلى أسفل والعكس فإنها لا تتغير.

وباستخدام التكنولوجيا الحالية، فإن تلفزيونا مجسما سيكون شيئا ضخما جدا، ويجب استخدام مجموعات كبيرة من الكمبيوترات الفائقة لتوليد كل صورة مجسمة، ولا يتم ذلك إلا عند سرعات منخفضة، وبشكل بدائي. كما أن إرسال صور مجسمة عبر سلك محوري عادي أو عبر أسلاك الهاتف سيكون مستحيلا، ومع ذلك فقد يصبح التلفزيون ثلاثي الأبعاد حقيقة في منتصف

القرن الحادي والعشرين، عندما تصبح أجهزة الكمبيوتر قوية بما يكفي للتحكم في المعلومات المخزنة على شكل صور مجسمة.

ما بعد ٢١٠٠: محركات من مضاد المادة Antimatter

إن التكنولوجيات التي رسمت خطوطها إلى الآن، قد تتحقق إلى حد بعيد في الفترة من ٢٠٢٠ وحتى ٢١٠٠، وبعد ذلك التاريخ ربما تأتي تكنولوجيات جديدة لتحل محلها، وربما كان أكثرها غرابة وتعقيدا هو محرك مضاد المادة. وكما يعرف كل هاوٍ لبرنامج (ستارترك)، فإن السفينة (الإنتربرايز) تستمد طاقتها من مضاد المادة، ولكن كل متتبع للبرنامج لا يعلم أن (جين رودنبري) سرق في الحقيقة هذه الفكرة من فيزياء الكم.

لقد وضع ديراك أحد مؤسسي نظرية الكم معادلة في عام ١٩٢٨، تصف إلكترونات تتبع النظرية النسبية لأينشتين، وقد أدرك ديراك أن معادلة أينشتين الشهيرة $E=mc^2$ هي في الواقع غير صحيحة تماما، لقد كان على أينشتين أن يأخذ الجذر التربيعي للمعادلة، للوصول إلى هذه الصيغة، لقد كانت المعادلة الصحيحة في الحقيقة هي: $E=+$ أو $- mc^2$. لقد أهمل أينشتين هذه الإشارة السالبة في صياغة النظرية النسبية، ولكن ديراك وجد أن نظريته عن الإلكترون لا تتسق إلا إذا ضُمنت هذه الإشارة السالبة فيها، ولذا، فقد اضطر إلى تصور حالة جديدة تماما للمادة، ذات خصائص متميزة هي مضاد المادة.

وظاهريا، لا يمكن تمييز مضاد المادة تقريبا عن المادة العادية، فيمكنك أن تشكل مضاد ذرات من مضاد إلكترونات ومضاد بروتونات. ومن الممكن، نظريا، وجود مضاد أشخاص ومضاد كواكب، وستبدو أيضا مشابهة تماما للناس العاديين والكواكب العادية، ولكن التشابه ينتهي عند هذا الحد، فشحنة المادة المضادة تعاكس شحنة المادة العادية، وسوف تتلاشى إلى دفقة من الطاقة بمجرد التلامس مع المادة العادية، وسينفجر أي شخص يحمل قطعة من مضاد المادة في يديه مباشرة بقوة الآف القنابل الهيدروجينية، ولذا فإن مضاد المادة مادة أسوء من أن تحملها في يدك، ولكنها قد تكون مثالية لتزويد الوقود لرحلات الفضاء، فهي لا تترك فضلات وتولد دفعا هائلا.

لقد لعب العلماء بكميات صغيرة جدا من مضاد المادة في المختبر لعقود، عاثرين عليه من بين منتجات التفكك للذرات المشعة (عندما كنت في المدرسة الثانوية قمت بتصوير مسارات من مضاد المادة الصادر عن الصوديوم ٢٢ المشع لمصلحة مشروع معرض علمي)، ويتقفى العلماء أيضا مضاد المادة الذي ينتج، عندما تولد محطمات الذرة القوية شعاعا من البروتونات، التي تُقذَف بعد ذلك نحو هدف، فمضاد الإلكترون ومضاد البروتون هما من بين الآف الجسيمات المتشظية، التي يمكن أن تستخلص بعد ذلك بواسطة مغناطيسيات قوية.

ولكن الحصول على كميات كبيرة من مضاد الذرات ومضاد الجزيئات أمر متعذر عمليا واقتصاديا، ومنذ عهد قريب فقط، أي في عام ١٩٩٥، استطاع الفيزياثيون الذين يستخدمون مسرّع الجسيمات، في سيرن بسويسرا، أن يحصلوا على المقادير الأولى الصغيرة جدا من مضاد الهيدروجين في المختبر.

ويمكن صنع حزم من مضاد المادة بإطلاق حزم من مادة عادية خلال هدف، مما يؤدي إلى خلق دفقة مفاجئة من شظايا الجسيمات، يتألف بعضها من مضاد المادة، ثم يستخدم مجال مغناطيسي لفصل مضاد المادة عن المادة. لقد أخذ الفيزيائيون في سيرن حزمة من مضادات البروتونات، التي تدور في مسرّع الجسيمات الخاص بهم، ثم أطلقوها خلال تيار من غاز الزينون. لقد خلق التصادم بين مضادات البروتونات وذرات الزينون مضادات إلكترونات التقط بعضها لفترة قصيرة بواسطة مضادات البروتونات لصنع مضاد الهيدروجين، ولسوء الحظ، فقد دام مضاد الهيدروجين لفترة $\frac{١}{٤٠}$ بليون من الثانية، وهو وقت قصير جدا لأي تحليل مفصّل.

وبمعرفة أن مضاد الهيدروجين موجود، فإن الخطوة التالية هي صنع تجمعات مستقرة من مضاد الهيدروجين في حاويات، وقد بُنيت بالفعل (مصائد) Traps مضاد المادة، يمكن لها أن تحوي بنجاح جسيمات من مضاد الإلكترون ومضاد البروتون. ويحفظ مضاد المادة في هذه المصائد بواسطة مزيج من مجالات كهربائية ومغناطيسية. والحيلة الآن هي دمجهما لخلق ذرات مستقرة من مضاد الهيدروجين. ويجرب فيزيائيون في

معهد ماكس بلانك للبصريات الكمية في غار شينج بألمانيا استخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون لإجبار مضاد الإلكترون ومضاد البروتون للقاء بعضهما في المصائد ليشكلا مضاد الهيدروجين، وكما يمكن للمرء أن يرى، فإن كلفة تصنيع مضاد الهيدروجين ضخمة جدا. إن تصنيع مضاد الجزيئات سيستغرق عدة عقود في المستقبل، كما أن تصنيع كمية كافية من مضاد المادة؛ لاستخدامها في محركات باستخدام تكنولوجيا معروفة سيؤدي إلى إفلاس الولايات المتحدة.

المشكلة الثانية في مضاد المادة هي: أين تضعه؟ فأي صندوق يحتوي مضادا للمادة سوف ينفجر فورا. ولا تستطيع أيضا وضع مضادات الذرة في مجال مغناطيسي أو في قارورة مغناطيسية؛ لأن مضادات الذرة ستكون معتدلة الشحنة. وعلى سبيل المثال، فإن البلاستيك (أو مضاد البلاستيك) سيمر من دون جهد من خلال أقوى مجال مغناطيسي.

وليس هناك من سبب علمي يستبعد استخدام مضاد المادة كوقود في المستقبل البعيد، ما عدا القيود الاقتصادية الشديدة لتصنيعه (ربما كان الأمل هو إمكان العثور على مضاد المادة في المستقبل على شكل حجر فضائي في الفضاء الخارجي، ولقد اكتشف في عام ١٩٧٧ «نبع» ضخم من مضاد المادة قرب مركز مجرتنا. ولذا ربما أمكن في يوم ما العثور على مضاد مادة طبيعي)، ولكن بما أن الكلفة مرتفعة جدا، فعلى المرء أن يبتكر خططا جديدة ذات كفاءة اقتصادية، لتصنيع كميات كبيرة من مضاد المادة، ونتيجة لذلك، فإن محركات مضادات المادة غير محتملة قبل زمن بعيد في المستقبل.

تحدي القوانين المعروفة في الفيزياء

من الخطر دائما إجراء توقعات تقول باستمالة أشياء معينة، ففي كثير من الأوقات عاش من يقول لا، ليرى أن هذه الأشياء ذاتها قدأصبحت من الماضي. لقد أخبرت مجموعات من الذين يقولون لا، الأخوين رايت وجيمس واط وتوماس أديسون، أن الطائرة والمحرك البخاري ومصباح الإنارة أمور مستحيلة، ثم عاشوا ليروا هذه الاختراعات وهي تغير مجرى التاريخ. ولأنه

لدينا إدراكا معقولا لقوانين الطبيعة. نستطيع مع ذلك أن نقول إن بعض أشكال التكنولوجيا لا يتلاءم مع القوانين المعروفة في الكهروديناميك ونظريتي الكم والنسبية..إلخ. وهذا لا يعني أن الاختراعات التالية مستحيلة. ولكنها فقط غير محتملة إلى حد بعيد، بحسب فهمنا الحالي لقوانين الطبيعة.

وفيما يلي عدد من التكنولوجيات المستقبلية التي نوقشت مطولا، ولكنها خارج فهمنا وخارج متناول أيدينا وقد يبقى الأمر كذلك إلى الأبد.

مدافع شعاعية محمولة

أدخل هـ.ج. ويلز في كتابه «حرب العوالم» فكرة «الأشعة الحرارية»، التي أطلقت من قبل آلات متحركة من المريخ، والتي دمرت مدنا كاملة وأرجعت الجنس البشري إلى العبودية. واليوم يمكن أن تكون أشعة الليزر بقوة الأشعة المذكورة، ونستطيع توليد ملايين الواطات من طاقة الليزر، والتي يمكن لها أن تخترق الفولاذ. والواقع أن القيد الوحيد على القوة التي يمكن أن تجمع داخل حزمة الليزر ربما تمثل في ثبات المادة المنتجة لليزر (والتي تسخن وتتصدع وتصبح غير مستقرة عند مستويات مرتفعة من الطاقة)، ومصدر الطاقة. وتكمن المشكلة، مع ذلك، في صنع حزمة محمولة من الطاقة، يمكن مسكها بواسطة اليد. وإذا أردت لطاقة من محطة نووية أن تنطلق من مدفع شعاعي، فهناك مشكلة بسيطة: يجب أن تكون متصلا مع وحدة لتوليد الطاقة النووية.

لقد واجه الرئيس ريجان هذه المشكلة ذاتها عندما اقترح خطة حرب النجوم عام ١٩٨٣؛ لقد احتاج إلى حزمة طاقة محمولة، يمكن وضعها على أقمار صناعية صغيرة تدور حول الأرض.

ولقد كان المصدر المحمول الوحيد لطاقة من هذا النوع هو القنبلة الهيدروجينية. عندما تفجر قنبلة هيدروجينية، يمكن تحويل دفقتها من أشعة إكس. كما رأينا، عبر قضبان نحاسية لتوليد حزم شديدة من ليزر أشعة إكس، وبالفعل، فقد كان مخطط حرب النجوم الأصلي لإدوارد تيللر، هو وضع آلاف القنابل الهيدروجينية في كل ليزرات أشعة إكس، التي تدور حول الأرض، ومع

ذلك، فقد تبين فيما بعد أنه حتى ليزرات أشعة إكس المدفوعة بواسطة القنبلة الهيدروجينية لا تمتلك الطاقة، أو القدرة على إسقاط آلاف الرؤوس الحربية الروسية في زمن قصير جدا. ولا توجد حاليا حزمة طاقة محمولة لمدفع شعاعي، باستثناء القنبلة الهيدروجينية، ولا يعلم العلماء من أين يبدأون البحث للعثور على واحدة.

حقول القوة

إن حقول القوة، وهي جدران شفافة لا يمكن اختراقها مصنوعة من طاقة بحتة، خاصة شائعة في الخيال العلمي. ومن أجل توفير إمكانات بناء حقل قوة، يجب أن ندرس القوى الأساسية الأربع التي تحكم الكون: الكهرومغناطيسية والجاذبية والقوى النووية الضعيفة والقوية، ولا أحد من هذه القوى قابل لأن يصبح حقل قوة.

فالحقول الكهرومغناطيسية غير مؤهلة لذلك؛ لأن بعض الأجسام محايد تحت حقول كهربائية ومغناطيسية، وستطير متجاوزة حقلا كهرطيسيا. فكما ذكرت سابقا، يمكن إرسال قطعة بلاستيكية خلال حقل مغناطيسي قوي دون أن تتحرف. وأيضا فإن قوى الجاذبية غير مؤهلة؛ لأنها قوى جاذبة وليست طاردة، كما أنها ضعيفة جدا أيضا. على سبيل المثال، إذا مشطت شعرك يمكن للمشط أن يرفع قطعا صغيرة جدا من الورق، وبهذا يمكن تعديل قوة السحب لجاذبية الكوكب بواسطة مشط بسيط!

وكذلك، فإن القوى النووية الضعيفة والقوية غير مؤهلة؛ لأنها لا تعمل إلا على أبعاد ذرية ونووية، بينما تعمل حقول القوة في روايات الخيال العلمي على مسافات تمتد من عدة أقدام إلى عدة أميال.

وهناك، مع ذلك، عدد من الثغرات المحتملة، وتتمثل إحداها في احتمال وجود «قوة خامسة» غير معروفة حتى الآن، وقد أجريت محاولات جدية عدة لإيجاد قوة خامسة، يمكنها - على سبيل المثال - أن تعمل على مسافة عدة أقدام، ولقد كان هناك عدد من التقارير بأنه عُثر على مثل هذه القوة؛ ليتبين بعد ذلك أنها كلها تقارير زائفة. وثانيا بما أن فهمنا للقوى النووية الضعيفة والقوية لا يزال بدائيا، فربما استطعنا يوما ما خلق حقول قوى يكون ثخنها

ضمن المجال النووي أو الذري، ولكنها يمكن أن تمتد لعدة أقدام أو أميال. ولسوء الحظ، فلا أحد يعلم كيف يمكن فعل ذلك.

ترانزستورات ووسائل نقل ذرية

لقد أصبحت عبارة «ارفعني بحزمة الضوء إلى الأعلى ياسكوتي» تعبيرا شائعا بين ملايين المعجبين بمسلسل (ستارترك)، ويعتقد معظم المشاهدين عندما يسألون، أنه على الرغم من أن محرك سفينة (إنتر برايز) خيالي، فإنه من الممكن صنع مثل هذه الوسيلة من وسائل النقل في نهاية المطاف. وفي الحقيقة ربما كان الوضع على عكس ذلك، فعلى الأقل لدينا نظرية عن التواء الفضاء Space Warps والثقوب الدودية Wormholes من معادلات أينشتَين ونظرية الكم. ومع ذلك، يرفع الفيزيائيون أيديهم باستسلام وبارتباك تام، عندما يتعلق الأمر بطرح آلية لمثل هذه الوسيلة في النقل، قائلين ليس لدينا أي فكرة عن ذلك.

إن مجرد فكرة أن يفكك شيء ما تماما، ذرة فذرة، ثم يطلق عبر الفضاء، ومن ثم يعاد تجميعه هي فكرة فوق التصور، فكل خطوة من الخطوات الثلاث هي خارج مجال الفيزياء المعروفة للعلم: فأولا، لا نستطيع تفكيك الناس ذرة فذرة، لأننا لا نستطيع حساب موضع كل ذرة، فهذه المعرفة وحدها ستستنفد كل أجهزة الكمبيوتر الموجودة على الأرض. وثانيا، لا نستطيع إرسال ذرات عبر الفضاء، ولا حتى بواسطة الراديو. وثالثا، فإننا لن نعلم كيف نعيد تركيب إنسان، حتى لو علمنا موضع كل ذراته.

اللامرئية

في رواية «الرجل الخفي»، يصبح بطل هـ.ج. ويلز غير مرئي من خلال حادث تعرض له، فجسده يعوم في البعد الرابع، وهو ينحرف قليلا عن الأبعاد الثلاثة لكوننا. وبالتالي فهو غير مرئي لنا، على الرغم من أنه يستطيع رؤية كل شيء يحدث في عالمنا الثلاثي الأبعاد. ولسوء الحظ، لا توجد طريقة معروفة لجعل شخص ما غير مرئي. إن الذي يجعل الشيء مرئيا أو غير مرئي هو بنية مدارات إلكترونات الذرة، وبالنسبة للأجسام المعتمة، فإن

مدارات إلكتروناتها تمتص ببساطة الضوء القادم أو تشتته. أما بالنسبة للأجسام الشفافة، فإن مدارات إلكتروناتها تمتص الضوء القادم وتشتته بعد ذلك، مما يعيد تشكيل الموجة الأصلية. ولا نعرف في الوقت الحالي كيف نتحكم في بنية الغلاف الذرية للذرات؛ كي نتمكن من تغيير خصائصها البصرية حسب رغبتنا، ونجعل الأجسام لا مرئية. وعلى الرغم من أن هذه الأفكار خيالية، وربما تنتهك القوانين الأساسية للفيزياء، فإن هناك تكنولوجيا مستقبلية واحدة تدخل ضمن فهمنا، وهي السفن الفضائية التي تجوب النجوم القريبة.



١٤ الوصول إلى النجوم

مثل هجوم خاطف للبرق، فإن اكتشاف هياكل أحفورية تشبه الديدان في قطعة صخرية من المريخ، قد ركز الاهتمام العالمي على الكوكب الأحمر، محفزا الرئيس كلينتون ليعلن: «اليوم، تتكلم الصخرة ٨٤٠٠١ إلينا عبر كل تلك البلايين من السنين وملايين الأميال... إنها تحدثنا عن احتمال وجود الحياة. وإذا أُثبت هذا الاكتشاف، فإنه سيكون بالتأكيد أحد الاكتشافات المدهشة للعلم على الإطلاق في كوننا». بهذه الكلمات لخص الرئيس الأمريكي، في صيف عام ١٩٩٦، الإثارة والدهشة المتولدتين عن احتمال اكتشاف الحياة على المريخ. وفي عام ١٩٩٧ تكهن العلماء بأن الحياة قد توجد على أقمار المشتري.

ومن دون شك، فسوف نشهد عددا كبيرا من الاكتشافات، والعلامات البارزة المدهشة في الفضاء، في القرن الحادي والعشرين، بينما يوسع العلماء الحدود الحالية للمعرفة. وسوف نرى سلسلة من أجهزة الإنسان الآلي المتحركة ذاتيا تستكشف سطح المريخ، ونرى مكوك

«هناك احتمالان: إما أننا وحدنا في هذا الكون وإما أننا لسنا كذلك. وكلاهما مرعب بالقدر نفسه».

آرثر كلارك

فينشر ستار X-33 خليفة مكوك الفضاء يرتفع عاليا؛ ليلتحم مع المحطة الفضائية الجديدة ألفا، التي تبنى بالتعاون بين عدة دول. وستكون لدينا، أيضا، نماذج جديدة من المناظير الفلكية، القادرة على اكتشاف كواكب شبيهة بالأرض خارج نظامنا الشمسي، والتي، إذا اكتشفت، فإنها ستحث العلماء بالتأكيد على تصميم السفن النجمية الأولى، لاستكشاف النجوم القريبة؛ بحثا عن الحياة الذكية.

ولأن قوانين الفيزياء والهندسة لعلم الصواريخ معروفة بشكل جيد، فمن الممكن وضع تنبؤات معقولة حول الاتجاه المستقبلي، لاستكشاف الفضاء في القرن الحادي والعشرين، وحتى في القرن الثاني والعشرين. وسألخص في هذا الفصل الاحتمالات الممكنة لكيفية تطور برنامج الفضاء في الفترة من الآن وحتى ٢٠٢٠، والذي وضعت له ناسا مسبقا بعض الأهداف العريضة من عام ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠، عندما تجعل أنظمة الدفع الجديدة السفر بين الكواكب أمرا شائعا. ومن عام ٢٠٥٠، إلى القرن الثاني والعشرين وما بعده، عندما تفكر البشرية في استعمار الكواكب الأخرى.

إن استعمار الفضاء ليس تخمينا بحتا ولا رغبة خيالية، ولكنه مسألة بقاء أنواعنا على المدى الطويل، فالأرض تقع في قلب غرفة كونية للرماية، وعلى مدى زمني يمتد من آلاف إلى ملايين السنين. من المحتم أن يحطم جسم فضائي أو مذنب أو كارثة طبيعية أخرى معظم الحياة على الأرض، وهذا يعني أن على أنواعنا أن تجد - يوما ما - موطنا جديدا في الفضاء الخارجي. إن البحث عن موطن جديد في الفضاء مسألة عملية من أجل البقاء.

من الآن وحتى ٢٠٢٠

كان هـ.ج. ويلز قد افترض - عندما كتب روايته الشهيرة «حرب العوالم» عام ١٨٩٨ - أن سكان المريخ سيغزون الأرض. وفي الواقع فإن سكان الأرض هم الذين يغزون المريخ الآن، فمن المتوقع أن تغادر ١٠ مسابر فضائية تابعة لوكالة الفضاء والطيران الأمريكية (ناسا) إلى الكوكب

الأحمر، من عام ١٩٩٧ وحتى ٢٠٠٧، بمعدل مسبار واحد كل عام. وقد يمهد هذا الطريق في النهاية أمام إقامة قاعدة دائمة من أجهزة الإنسان الآلي، وحتى أمام مهمات بملاحين، تتجه نحو المريخ في أواخر القرن الحادي والعشرين.

ولا شك في أن مهمات الفضاء نحو المريخ ستتسارع من دون شك، إذا أكّدت الاكتشافات المتعلقة بوجود حياة مجهرية على المريخ من قبل العلماء في مركز جونسون الفضائي. وكما أذيع حول العالم، فقد كان العلماء يدرسون نوعا غير عادي من الأجسام الفضائية، سقط على القطب الجنوبي منذ آلاف السنين (ولأن القطب الجنوبي أبيض تماما تقريبا، فإن العثور على أجسام فضائية وسط المنطقة الجليدية القاحلة سهل جدا)، ولهذه الأجسام الساقطة التركيب الفلزي والغازي ذاته الذي يوجد على المريخ، ونتيجة لذلك فإن العلماء مقتنعون أنها أتت من الكوكب الأحمر. ولأن للمريخ نصف حجم الأرض، وأن جاذبيته ضعيفة جدا، فإن العلماء يرون أن اصطدامات الأجسام الساقطة على المريخ ربما فجرت أجزاء من تربة المريخ نحو الفضاء الواسع، حيث تجولت لملايين السنين قبل أن يسقط بعضها على الأرض، ولقد استُرجع حتى الآن ١٤ نيزكا مريخيا من قارة القطب الجنوبي.

لقد كان أحد النيازك الذي استرعى انتباههم عبارة عن صخرة بوزن ٤ باوندات، بحجم قطعة كبيرة من البطاطا دعيت ALH84001. ولقد انطلقت من المريخ منذ ١٦ مليون سنة، وانجرفت في الفضاء، حتى هبطت إلى القطب الجنوبي منذ ١٣ ألف سنة. وقد أوضح تحليل مفصل لمحتوياتها وجود حياة ميكروبية على المريخ منذ ٣,٦ بليون عام، وتبدو صور هذه البنى الشبيهة بالديدان مطابقة تقريبا لبقايا الحياة المكروبية الأحفورية الموجودة على صخور الأرض، والتي تعود أيضا إلى ٣ بلايين سنة.

لقد دعم هذا الادعاء المدهش بشكل أكبر، عندما أعلن البريطانيون، بعد عدة شهور، أن نيزكهم المريخي يحتوي أيضا دلائل على مادة عضوية، تتسق مع وجود حياة. ولقد أثار هذا كله اهتمام الرأي العام في الرحلات الأولى للمريخ في عقدين: رحلة باثفيندر ورحلات مارس جلوبال سيرفيور،

والتي أُطلقت عام ١٩٩٦، و وصلت إلى المريخ عام ١٩٩٧، وهما يمثلان مجرد البداية لجهد مركز من قبل ناسا لاستكشاف كوكب مجاور.

وتحضّر ناسا، منذ مدة، جدولا زمنيا لاستكشاف الكوكب الأحمر، وستمسح الرحلات الأولى إلى المريخ الكوكب بتفصيل أكبر من ذي قبل، وسوف تضع على الكوكب المركبة مارس روفر، التي تشبه الحشرة وبطول قدمين (والتي أخذت فكرتها من أجهزة الإنسان الآلي الحشرية لرودني بروك التي تحدثنا عنها في الفصل الرابع). وتستطيع هذه المركبة استكشاف الأرض الوعرة بشكل مستقل، ومن دون أوامر مفصلة من الأرض، (ولأن الاتصال اللاسلكي يستغرق عشر دقائق تقريبا للوصول إلى المريخ، فإن توجيه الروفر بواسطة التحكم عن بعد عملية معقدة).

وستمتلك الروفرات اللاحقة مجرفة صغيرة؛ لأخذ عينات ترابية من أجل التفتيش عن آثار لأشكال الحياة، ولفحص تركيب التربة. وسيتوج هذا كله بجلب هذا الإنسان الآلي لصخر من المريخ بحدود عام ٢٠٠٥ (بما أن جاذبية المريخ ضعيفة، فإن الانطلاق من سطح المريخ من أجل مشوار العودة لن يكون مشكلة صعبة). ويتمثل أحد الاحتمالات الذي يدرس من قبل علماء ناسا، في إنتاج وقود وأكسجين مباشرة من مصادر مريخية، باعتبار أن التربة ربما كانت غنية بالجليد، وأن الجو غني بثاني أكسيد الكربون. إن هذا سيقلل، إلى حد بعيد، من تكاليف استدعاء الرحلة، وقد يكون المفتاح لإقامة قاعدة للإنسان الآلي دائمة على سطح المريخ. وإذا أُثبت وجود حياة ميكروبية على المريخ، فإن السؤال هو: كيف تطور هذا الشكل من الحياة على سطح كوكب ليس مناسبا لمثل هذا النوع من الحياة؟

المريخ: الصحراء المتجمدة

عرفنا من مختبري الفضاء مارينز والفايكنج أن المريخ (صحراء متجمدة)، وأنه كوكب بارد قاس بدرجات حرارة تحت درجة التجمد، وسطحه صحراوي أجرد، ويتعرض لعواصف كوكبية ضخمة، وأن غلافه الجوي غير سميك يتألف من غاز ثاني أكسيد الكربون، وبحوالى ١ في

المائة من كثافة جو الأرض وغير صالح للتنفس. (وأي شخص سيئ الحظ بما يكفي، كي يوجد على سطح المريخ من دون بذلة فضائية سيختنق، ويتجمد، وينفجر في النهاية).

ولكن الأمر لم يكن دائما كذلك. فمنذ عدة بلايين من السنوات كان في المريخ عدد وافر من البحيرات والبحار وربما المحيطات، ونرى مجاري أنهار قديمة وبقايا جزر كونت بالماء الجاري، والذي تدفق يوما ما بحرية على سطح المريخ، مبرهنا على أن مناخ المريخ كان مختلفا جذريا في الماضي. وقد لاحظ كارل ساجان أنه «بين ٤ إلى ٣,٨ بليون سنة مضت، ربما كانت الظروف على المريخ ملائمة لظهور الحياة. إن سطح المريخ مغطى بدلائل على أنهار قديمة وبحيرات، وربما محيطات بأعماق تتجاوز الـ ١٠٠م» (لقد كانت الظروف غنية ومشجعة على تشكل الحياة، بحيث خمن العلماء أن الحياة ربما بدأت لأول مرة على سطح المريخ بدلا من الأرض، ثم زرعت نيازك مريخية بذور الحياة الميكروبية على الأرض). ويتساءل ريتشارد زار من جامعة ستانفورد «من يمنعنا من القول بأننا لسنا جميعا من المريخ؟».

إن أحد المقترحات الجدية التي تدرسها ناسا لفترة ما بعد ٢٠١٠، هو إقامة نوع من القاعدة الدائمة من أجهزة الإنسان الآلي على المريخ، تستطيع مراقبة الظروف على الكوكب، وتستكشف أرضه للحصول على مواد كيميائية مفيدة، خالقة قاعدة للعمليات التي يمكنها أن تستمر مستقلة بذاتها. وفي عام ١٩٩٧، لقيت الخطط لإرسال مسابر فضائية إلى الفضاء دعما جديدا مع الإعلان أن الظروف في أوروبا، وهو القمر المغطى بالجليد التابع للمشتري، قد تكون ملائمة للحياة. وعلى الرغم من أن أوروبا عالم قاسٍ وبارد، فقد يوجد تحت قشرته الجليدية الدائمة محيط ضخم من الماء السائل، الذي يسخن بواسطة النشاط البركاني، والتفكك الإشعاعي وأيضا طاقة الجاذبية الناجمة عن قوى المد الضخمة في المشتري. ولقد اقترب المسبار جاليلو، الذي يدور حاليا حول المشتري إلى مسافة ٣٦٣ ميلا من أوروبا. والتقط صورا لما يبدو أنه بحار حمراء اللون، توجد فيها جبال جليدية عائمة. وبالطريقة ذاتها التي تعيش فيها الميكروبات قرب منافذ بركانية في قاع البحار على الأرض، فقد توجد

الحياة قرب منافذ بركانية في محيطات أوروبا، ويقول الفلكي جون ديلاني من جامعة واشنطن «إنني متأكد من وجود حياة هناك».

وعلى الرغم من أن الاقتراحات لإرسال أشخاص إلى المريخ وما بعده، تعيدنا إلى ذكريات مثيرة عن قرار الرئيس جون كنيدي الشهير بوضع أناس فوق سطح القمر، فإن مثل هذا البرنامج المتعجل سيكون خطرا جدا. ويقدم مقدارا ضئيلا من العلم لقاء المال المصروف. وبتكلفة تقارب ٥٠٠ بليون دولار على أقل تقدير بحسب بعض التقديرات، فإن الرحلات التي يقودها الإنسان بنفسه إلى المريخ، ستكون مكلفة جدا وخطرة، وتمثل تبديدا لموارد نادرة. وقد قررت ناسا بحكمة عدم تكرار الخطأ ذاته. الذي حدث في الستينيات، عندما كانت الحرب الباردة هي التي تدفع البرنامج الفضائي إلى حد كبير، مما أدى إلى انهياره عندما فقد السياسيون الاهتمام بالقمر. ومن الصعب رسم مخطط لرحلات الفضاء في المستقبل، لأن السياسة كانت غالبا القوة الدافعة وراء برنامج الفضاء، وليس العلم، ولأن السياسيين كانوا يطلبون من رواد الفضاء أداء أعمال مدهشة، ولكنها احتفالية بحتة في الفضاء، يمكن إنجازها بواسطة أجهزة إنسان آلي بأجزاء من الكلفة.

وكما كتب وليم والتر في كتابه «عصر الفضاء»: «يبدو أن قصة حبنا مع القمر أصبحت غزلا بحتا، إنها مجرد موعد لليلة واحدة، أججتها انفعالات الحرب الباردة». وربما عبر جونسون عن موقف زعمائنا الوطنيين بشكل أفضل عندما قال بوجه عابس إنه «لا يريد أن يذهب إلى النوم على ضوء قمر شيوعي». وقد سخر إسحق عظيموف من اهتمام واشنطن باكتشاف القمر، الذي تضاءل بسرعة بعد الوصول إليه، وكان بليغا في ذلك مثل جونسون «لقد سجلنا هدفا ، وربحنا اللعبة، والآن يمكننا أن نعود إلى البيت». وتعكس رحلات ناسا الجديدة إلى المريخ القول الشائع للمدير دانييل جولدن: «أصغر وأسرع وأرخص وأفضل». فبدلا من إرسال رحلة فضائية واحدة مكلفة إلى المريخ مرة كل عشرين سنة (مثل المهمة المشؤومة للمركبة مارس أوبزرفر التي كلفت بليون دولار، والتي ربما تكون قد انفجرت عام ١٩٩٣ بمجرد اقترابها من المريخ)، فإن خطة ناسا الجديدة هي توزيع المخاطرة والكلفة بإرسال ١٠ مسابر أصغر، ولكنها أكثر تقدما خلال السنوات العشر القادمة.

محطة الفضاء عام ٢٠٠٢

على الرغم من كل طاقته وخياله، فإن جولدن مدير ناسا مثقل - لسوء الحظ - ببعض المشاريع الضخمة المكلفة، التي تركها له سابقوه مثل محطة الفضاء ألفا والمكوك الفضائي. والمثال الأكبر هو محطة الفضاء، التي لا يزال من المتعذر إيجاد رحلة علمية حقيقية إليها. وعندما تبنى محطة الفضاء الدولية ألفا بشكل نهائي في يونيو عام ٢٠٠٢، فإنها ستكون مختلفة جدا عن المكوك الفضائي المذهل والأنيق، الذي تخيله كل من ستانلي كوبريك وآرثر كلارك في الفيلم ٢٠٠١. وستزن ألفا وزنا تافها يقدر بـ ٤٤٣ طنا. وإذا أدخلت الألواح الشمسية الواسعة، فستكون بحجم ملعب لكرة القدم بقياس ٣٦١ إلى ٢٩٠ قدما. وستبدو - كما وصفها أحد النقاد - حوض استحمام بأجنحة، وستحمل فريقا من ٦ رواد فضاء فقط يعملون في ٧ مختبرات، ويدورون حول الأرض على بعد ٢٠٠ ميل.

وسيتطلب الأمر ٦٧ عملية إطلاق؛ لوضع المواد كلها في الفضاء، منها ٢٢ رحلة مكوك فضائية، وسيقوم الروس ببقية الإطلاقات. وربما كان السعر الكلي ٦٠ بليونا أو حوالى بليون لكل عملية إطلاق، وسيأتي ٤٣ بليونا من الولايات المتحدة الأمريكية، والباقي من دول أخرى. وقد وصف مكتب المحاسبة العامة تقديرات ناسا بأنها متفائلة جدا، ووضع الكلفة عند رقم أكثر واقعية، وهو بحدود ٩٣,٩ بليون دولار. وقد قال ألبرت ويلون مدير مجلس إدارة هيوزايركرافت السابق وعضو اللجنة الرئاسية لعام ١٩٩٣ عن محطة الفضاء «إن القيمة العلمية لها مبالغ فيها كثيرا... إنها، بكل وضوح وبساطة، برنامج لتوفير أعمال». وقالت لجنة البحث الوطني، والتي تضم بعض أبرز علماء الفضاء إنه «لا يمكن دعمها على أسس علمية».

ومن وجهة نظر علمية بحتة، فإن النقد الرئيسي الموجه لألفا، هو أنها تقدم قليلا من العلم، لقاء ثمن يعادل ١٠٠ بليون دولار، ويمكن أداء كل التجارب المخططة على ألفا تقريبا بجزء من الكلفة، بواسطة صواريخ منفردة أو محطات مدارية أصغر مثل: محطة الفضاء الروسية مير.

وكانت إحدى الرحلات العلمية مخصصة في الأصل لدراسة «الجاذبية الميكروية»، أي صنع مواد وبروتينات غريبة في وسط انعدام الوزن الموجود في الفضاء الخارجي، ولكن كما قال الفيزيائي آلان بروملي المستشار العلمي للرئيس السابق جورج بوش (الأب) «إن الجاذبية الميكروية ذات أهمية ميكروية». ويلخص عالم الفضاء (جيمس فان آلن) شعور معظم العلماء بقوله: «يمثل المكوك الفضائي والمحطة الفضائية نقيض كل شيء، صرح جولدن إنه يرغب فيه، فهما أكبر وأبطأ وأسوأ وأكثر كلفة».



محطة الفضاء «ألفا» المقرر الانتهاء من إنشائها عام ٢٠٠٢، بتكلفة ١٠٠ بليون دولار.

وفي عام ١٩٩٧ أصيبت محطة الفضاء بضربتين أخريين. فلقد قدرت لجنة البحث الوطنية أن هنالك احتمالا مقداره ٥٠ في المائة في أن تعاني محطة الفضاء اصطداما مدمرا بنيزك صغير في الفضاء خلال عمرها المقدر بـ ١٥ سنة، وقد يكون بعض هذه النيازك صغيرا جدا بحيث يتعذر كشفه بالرادار، ولكنه سيكون كبيرا بما يكفي لخرق غلاف المحطة الخارجي.

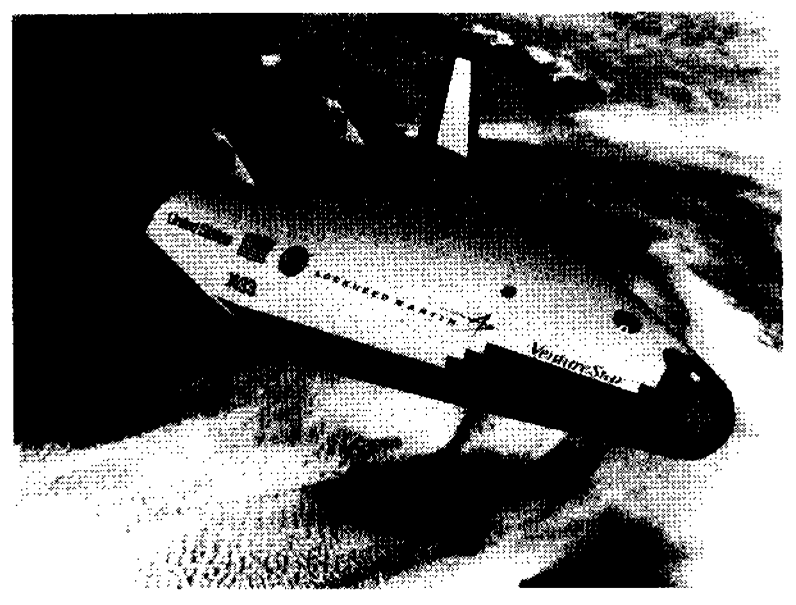
أيضا قد لا يتمكن الروس، الذين يواجهون اقتصادا متفككا، من إنجاز مساهمتهم في محطة الفضاء، والمتمثلة في بناء معادل Module الخدمة المركزي. ويستنتج جولدن «من اليوم الذي بدأنا فيه مع الروس، كانت هناك مخاطر»، إن هذا يؤخر البرنامج عاما إلى الوراء، وعلى الرغم من أن محطة الفضاء قد تصبح في حكم المنتهية حتى قبل بنائها عام ٢٠٠٢، فإن ناسا مستعدة - على الأقل - لاستبدال المكوك الفضائي.

فينشرستار - X-33 : حصان عمل القرن الحادي والعشرين

وصفت عضوة الكونجرس الأمريكي دانا روهراباخر مكوك الفضاء بأنه: «أكثر الأجهزة التي عرفها الإنسان فاعلية في استهلاك الدولارات». لقد كان المكوك الفضائي بالنسبة لموظفي ناسا عبئا يودون التخلص منه، وأحد مخلفات الحرب الباردة. وأصبح بتكلفته المرتفعة وسجل إنجازه الضعيف، والمخرج الذي يتألف من ٨ إطلاقات كل عام، بمنزلة ثقب أسود بالنسبة إلى دولارات دافعي الضرائب. ويستطيع المكوك أن يحمل حمولات من ٢٧ طنا، ولكن بكلفة مذهلة تبلغ ٨٠٠ مليون دولار لكل إطلاق. ويكلف إرسال حمل من باوند واحد إلى الفضاء على المكوك حوالى ١٥ ألف دولار، وهو أكثر من ضعف سعر الذهب (تقريبا ٦ آلاف دولار للباوند)؛ ونتيجة لذلك فقد امتلكت وكالة الفضاء الأوروبية بصاروخها آريان الرشيق الحركة حوالى ثلثي سوق الإطلاق، الذي كان في يوم ما حكرا على الولايات المتحدة الأمريكية.

ولكن هذا السجل البائس قد يشهد تحولا، ففي يوليو ١٩٩٦ منحت إدارة كلينتون بليون دولار إلى شركة لوكهيد مارتن لتطوير تصميم جديد جذريا لصاروخ رخيص وفعال. وقد هلل كثير من علماء الفضاء لهذا الأمر، على أنه بداية لحقبة جديدة من السفر الرخيص والمتكرر إلى الفضاء. إن هذا التصميم الجديد المصقول، وهو الأول منذ ثلاثة عقود، هو فينشرستار X-٣٣ ، وهو مركبة إطلاق قابلة لإعادة الاستخدام، وسيكون لنموذج أولي لها رحلة أولى في مارس ١٩٩٩، ويخطط لها أن تكمل ١٥ طيرانا اختباريا قبل عام ٢٠٠٠.

إن مفتاح فكرة فينشرستار هو أنه سيكون رخيصا ومتكرر الاستعمال، مما يخفض النفقات بـ ١٠ أمثال. ويمكن لهذا التغيير في اقتصادات السفر إلى الفضاء أن يبدل نظرة الناس إلى الفضاء الخارجي. وقد يصبح السفر إلى الفضاء، والذي اعتبر مرة مكلفا بشكل مستحيل، شائعا إلى حد ما. ويتصور العالم الفلكي جون لويس من جامعة أريزونا اليوم، الذي تكلّف



المكوك الفضائي The X-33 Venture Star: وهو مركبة إطلاق يعاد استخدامها، من المقرر أن يحل محل المكوك الفضائي الحالي في مطالع القرن الحادي والعشرين.

فيه رحلة إلى الفضاء الخارجي أكثر بقليل من طيران عبر الأطلسي، مما يجعل السفر إلى الفضاء متاحا للجمهور. إن لـ X-33 شكلا غير تقليدي يشبه صقر الألفية، الذي صور في فيلم حرب النجوم. ومثل صقر الألفية فهو ينطلق نحو الفضاء ويهبط على مطار تقليدي، ولاحاجة هناك إلى صواريخ تقوية ضخمة يتم التخلص منها من دون فائدة.

والهدف هو إنجاز ١٥ إطلاقا في السنة، وهو أربعة أمثال إطلاقات المكوك الفضائي الحالي. ويخطط لإطلاق نموذج «فينشرستار بطول ٦٧ قدما» وهو

بنصف الحجم الأصلي» في رحلته الأولى عام ١٩٩٩، ومن المفترض أن تكون المركبة ذات الحجم الكامل في طور العمل بحلول عام ٢٠٠٦. وبحلول عام ٢٠٠٨، يقول جين أوستن مدير مشروع فينشرستار في ناسا: إن رحلات هذه المركبة «ستكون ببساطة رحلات توصيل أشخاص وبضائع لتزويد محطة الفضاء ولإمكان الإطلاق التجاري»، ومن المفترض أن تحل تماما محل مكوك الفضاء الحالي بحدود عام ٢٠١٢، وفي النهاية ستسلم هذه المركبة إلى الصناعة.

قطار الشرق السريع

قد تشترك مع فينشرستار في أوائل القرن الحادي والعشرين مركبة إطلاق أخرى مختلفة جذريا، وهي الطائرة الفضائية Aerospace Plane. وأطلق عليها اسم قطار الشرق السريع من قبل الرئيس الأمريكي الأسبق ريجان، بسبب قدرتها على السفر من طوكيو إلى نيويورك في حوالى ساعة. يخطط لهذه الطائرة ذات السرعة الفائقة عن سرعة الصوت أن تقلع وتهبط كأي طائرة نفاثة عادية، ولكنها ترتفع في الفضاء مثل صاروخ، ونتيجة ذلك فهي ليست في حاجة إلى خزانات ثقيلة من الأكسجين أو صواريخ تقوية ضخمة مثل الصواريخ التقليدية؛ لأنها تمتص الأكسجين مباشرة من الهواء مثل طائرة نفاثة، وتطير عند مستوى ٢ ماخ إلى ٣ ماخات(*) (١,٥٠٠ إلى ٢,٢٠٠ ميل/ ساعة)، وعندما تصل إلى الغلاف الجوي العلوي، حيث يكون الهواء أقل كثافة جدا لدفع محركاتها النفاثة، تشتغل محركات الصاروخ وتتسارع الطائرة حتى ٢٣ ماخ منطلقة مثل صاروخ يعبر الفضاء نحو مداره. كما قال وليام سافاير من مجلة نيويورك تايمز «إننا مقدمون هذه المرة على طائرة فضائية وطنية (ناسب) NASP بسرعة ٤ آلاف ميل/ساعة، سوف تمر بطائرة الكونكورد الفرنسية ـ البريطانية، كما يمر غراب نشط على سحلية من العهود القديمة».

مشروع (الناسب) الأولي كان مجهودا استمر لعشر سنوات وكلف ١,٥ مليون دولار وانتهى عام ١٩٩٢، ويدعى الآن بشكل رسمي برنامج تكنولوجيا الانتقال الفضائي المتطور، وسيشرف مركز مارشال للطيران

(*) ماخ: وحدة سرعة تساوي سرعة الصوت (حوالى ٧٤١ ميلا في الساعة).

الفضائي التابع لناسا، في هانتسفيل بألاباما، على بناء هذه الطائرة النفاثة فوق الصوتية. وسيبدأ اختبار المحرك عام ٢٠٠٠، أما الطيران الأول للنظام على المستوى الصغير؛ فيخطط له عام ٢٠٠٢. ومن المتوقع إجراء اختبار للنظام على المستوى الكبير عام ٢٠٠٥.

وفي عام ١٩٩٧ منحت ناسا عقدا بـ ٣٣,٤ مليون دولار إلى شركة مايكرو كرافت لتطوير محرك جديد للطائرة فوق الصوتية، سينتج المشروع المدعو Hyper-x أربع عربات من دون ملاحين يمكن إعادة استعمالها، ومن المفترض أن تصل من ٥ ماخ إلى ١٠ ماخات بحلول عام ١٩٩٨. وفي النهاية فإن هدف مركبات الإطلاق فوق الصوتية، هو تقليل كلفة إطلاق أقمار ذات مدار أرضي منخفض بحوالى ٩٥ في المائة عام ٢٠٠٩. واذا ما حققت عربات الإطلاق هذه مثل هذا التخفيض في النفقات، مرسلة حمولات متكررة إلى الفضاء، فمن الممكن أن يصبح الطيران التجاري حقيقة. لقد أصبح هذا الجيل الجديد من المركبات ممكنا بفضل التطورات الثورية في تكنولوجيا المواد، التي أنتجت راتنجات قوية ومتينة وخفيفة الوزن لصنع جسم المركبات، حلت محل الأنسجة السيراميكية الخشنة (والمحتمل أن تكون خطرة)، التي تشكل الدرع الحراري لمكوك الفضاء. (خلال العودة إلى الغلاف الجوي، عندما يتعرض المكوك الفضائي لدرجات حرارة عالية ناجمة عن احتكاك الهواء، فإن فقد بعض من هذه الأنسجة النادرة يمكن أن يسبب احتراقا خطرا لغلاف المكوك. ومن المعروف أن المهندسين كانوا يشعرون بالقلق خلال عودة المكوك إلى الغلاف الجوي، ويصلّون بصمت، آملين في ألا تتفكك هذه الأنسجة. وبالمقابل فإن المركبات الجديدة تستخدم مركبات جرافيتية متطورة خفيفة الوزن وراتنجات من الألمنيوم ـ الليتيوم التي تخفف بشكل كبير من وزن الصواريخ وتجعلها أكثر كفاءة. إن هذه المركبات المنتجة بالأساليب التكنولوجية الراقية أخف بـ ٥ مرات من الفولاذ على الرغم من أنها أقوى منه بكثير. أما التكلفة فهي ١,٥ إلى ٢ دولار/باوند (والتي تقارن بـ ٢٠ ـ ٤٠ سنتا لكل باوند من الفولاذ). بل من المؤكد أن ينخفض هذا السعر مع الإنتاج بالجملة. إن هذه المواد متطورة جدا بحيث إن بعض المهندسين دعوا إلى صنع سيارات الركاب والقطارات منها؛ مما قد يزيد من أمن وكفاءة عملية النقل على الأرض. وتُشكل هذه المركبات

بصنع ألياف من الكربون والزجاج ومواد أخرى ثم صهرها إلى شبكة من البلاستيك والسيراميك أو المعدن. ولقد تسارع تصنيع هذه المواد الجديدة تماما بدوره بفضل ثورتي الكمبيوتر والكم.

لقد قدمت لنا أجهزة الكمبيوتر الفائقة، عن طريق وضع نماذج لتدفق الهواء فوق جسم الطائرة في الواقع الافتراضي، إمكان حساب درجات الحرارة، والإجهادات التي تتعرض لها المركبة الفضائية، التي تطير بسرعات فوق سرعة الصوت، من دون إجراء تجارب مكلفة. ولأن رياضيات تدفق الهواء والديناميكية الهوائية معروفة بشكل جيد، فإن هذه الأجهزة الفائقة يمكن أن تعطي وصفا دقيقا للبيئة غير الملائمة، التي يتعرض لها غلاف المركبة الفضائية، عندما تدخل إلى الغلاف الجوي بسرعة ١٧ ألف ميل/ساعة.

من ٢٠٢٠ وحتى ٢٠٥٠

هناك حاجة بعد عام ٢٠٢٠ إلى نماذج مختلفة جذريا من الصواريخ لتأدية وظيفة جديدة، وهي القيام برحلات بعيدة المدى بين الكواكب في أعماق الفضاء، بما في ذلك خدمة قاعدة من أجهزة الإنسان الآلي على القمر، واستكشاف حزام النجيمات والشهب، بل إمداد قاعدة مأهولة بالبشر على المريخ. وبحلول ذلك الوقت ستصبح الرحلات إلى الكواكب أمرا عاديا، وما يلزم هو توفير وسائل رخيصة يُعتمد عليها للنقل.

لقد اقترحت تصاميم عدة متنافسة لدفع صواريخ المستقبل، بما في ذلك المحرك الأيوني، والصاروخ النووي، ومسرّع الدفع المغناطيسي، والدفع بالأشرعة الشمسية، ويعاني العديد منها مساوئ رئيسية. فالصاروخ النووي على سبيل المثال يشكل خطرا صحيا كبيرا، إذا حدث انصهار في الفضاء. أما مسوغات الدفع المغناطيسي فإنها تسرع الأجسام بسرعة كبيرة، بحيث إنها تسبب تسطح معظم الحمولات. أما محركات الدفع بالأشرعة الشمسية فمن الصعب جدا بناؤها و إبقاؤها في الفضاء. ولقد قال الفيزيائي فريمان دايسون «إنني أعلن أن التحريك الكهروشمسي (الأيوني) هو الرابح في الفضاء؛ لأنه يسمح لنا أن نمضي في اتجاه السرعة والكفاءة والاقتصاد إلى أقصى ما تسمح به قوانين الفيزياء».

وكما كان الصاروخ الكيميائي حصان العمل في القرن العشرين، فإن المحرك الكهروشمسي الأيوني ربما سيقوم بعمل الخادم في أواخر القرن الحادي والعشرين. ويعمل المحرك الأيوني بشكل مشابه جدا للمدفع الإلكتروني الموجود في جهاز التلفزيون؛ فهو يشتق طاقته من خلايا شمسية تولد الكهرباء، وتستخدم بعد ذلك لتسخين الغاز مثل السيزيوم أو الزينون وتأيينه، ثم تسحب هذه الأيونات المشحونة نحو صفيحة مشحونة تستخدم لإطلاقها من فوهة مدفع.

إن المحرك الأيوني هو تقريبا النقيض تماما لصاروخ ساتورن، والذي ولّد ٩ ملايين باوند من الدفع على مدى عدة دقائق في رحلته نحو القمر. والمشكلة هي أن الصواريخ الكيميائية، مثل الساتورن، تنتج طاقة هائلة لوقت قصير من الزمن فقط، أما المحرك الأيوني فإنه بالمقابل لا يصدر إلا حزمة غير سميكة من الأيونات، التي تولد بدورها كمية متواضعة من الاندفاع، ولكنه قادر على الحفاظ على هذا الإندفاع بشكل دائم تقريبا.

ويشبه المحركان السلحفاة والأرنب، فالصواريخ الكيميائية تشبه الأرنب من حيث إفلاتها السريع من مجال الجاذبية الأرضية، ولكنها تستهلك الوقود بمعدل مرتفع، بحيث لا يمكن تشغيلها إلا لبضع دقائق. أما المحركات الأيونية فهي مثل السلحفاة قادرة على المضي إلى مسافات بعيدة؛ لأنها تستطيع الحفاظ على تسارعها الصغير ولكن المستمر لسنوات. وتدلنا الفيزياء على أن الكمية المهمة ليست الدفع، ولكن ناتجه ومدته. والذي يدعى «الدفعة النوعية»؛ فما تفقده خلال الدفع يمكن أن تعوضه بشكل أكبر خلال فترة الدفع كما اكتشف الأرنب، ويمكن لصاروخ كيميائي أن يحقق «دفعات نوعية» بحوالى ٥٠٠ ثانية، بينما يمكن لمحرك أيوني أن يحصل على «دفعات نوعية» من ١٠ آلاف ثانية، بحيث تكون القيمة العظمى حوالى ٤٠٠ ألف ثانية (الثانية هي اصطلاحا وحدة الدفع النوعية).

إن التصميم الأبسط للرحلات إلى الكواكب ذات المدى البعيد سيستخدم توليفة من هذه الصواريخ، فالصواريخ الكيميائية ستكون لازمة للإفلات من مجال الجاذبية الأرضية، ولكنها عندما تصل إلى الفضاء، فإنها ستستخدم المحركات الأيونية للتسارع المستمر إلى سرعات عالية، وللرحيل إلى الكواكب البعيدة وما وراءها.

ولأن المحرك الأيوني تزداد سرعته ببطء على مدى فترة طويلة من الزمن، فإنه يلائم نموذجيا الرحلات البعيدة المدى في أنحاء النظام الشمسي، حيث لا يشكل الزمن الاعتبار الأساسي. ويمكن للمرء أن يتصور نقل شحنات كبيرة من البضائع بين الكواكب بواسطة محركات أيونية، وقد يشكل العمود الفقري لشبكة خطوط حديدية كونية في الفضاء، ويقول فريمان دايسون «إن نظاما متنوعا من مركبات فضائية كهروشمسية، سيجعل النظام الشمسي بكامله متاحا للتجارة أو للاستكشاف، كما كان سطح الأرض في عصر السفن البخارية».

وفي مركز لويس للبحث العلمي في كليفلاند تجرى حاليا اختبارات على المركبة كويبر Kuiper إكسبريس، وهي مركبة تحرك بمحرك أيوني لاكتشاف الشهب الموجودة فيما وراء مدار نيبتون، وتدعى بحزام كويبر. وتستخدم كويبر السريعة محركا أيونيا مدفوعا بخلايا شمسية تقوم بتأيين غاز الزينون، ثم تقوم أقطاب بسحب الأيونات من مدفع، وينتج بالتالي الدفع. وتحصل كويبر السريعة على طاقتها من لوحين شمسيين كبيرين يستطيعان استخلاص الضوء من الشمس حتى في الفضاء العميق فيما وراء بلوتو، حيث لا تكون الشمس أسطع بكثير من النجوم القريبة.

كواكب خارج الشمس في الفضاء

سيتحول الاهتمام تدريجيا في أواخر القرن الحادي والعشرين من نظامنا الشمسي الخاص إلى النجوم القريبة، ولقد سر العلماء جدا لاكتشافهم في عام ١٩٩٧، ١٢ كوكبا خارج المجموعة الشمسية، تدور حول نجوم قريبة بمجموعات معروفة، مثل العذراء والدب الأكبر والفرس الأعظم، ولكنها كلها، لسوء الحظ، كواكب ضخمة شبيهة بالمشتري، ومن المحتمل أنها غير مسكونة.

ولكن قد تصبح أجهزتنا بعد عام ٢٠٢٠ حساسة بما يكفي، لاكتشاف كواكب صغيرة شبيهة بالأرض، تدور حول نظم نجمية قريبة، مما يشجع العلماء على الوصول إلى النجوم. ويقول عالم الفلك آلان بوس من معهد كارنيجي في واشنطن «إن الاكتشاف الذي نطمح بشدة إلى تحقيقه هو العثور على كوكب بعد الشمس قادر على دعم الحياة».

وكما أن احتمال اكتشاف الحياة على المريخ سيكون هو الدافع لمعظم استكشافات الفضاء في الفترة الأولى من القرن الحادي والعشرين، فإن إمكان إيجاد كواكب شبيهة بالأرض خارج نظامنا الشمسي، قد يدفع نحو اكتشاف الفضاء بين النجوم خلال نهاية القرن الحادي والعشرين.

نحن نعلم من قوانين نيوتين في الحركة أن شمسنا تتارجح قليلا، بسبب وجود كواكب عملاقة مثل المشتري وزحل، وبالمثل فإن الكواكب العملاقة سوف تنجذب نحو نجومها القريبة مسببة اهتزازها. وبما أن الكواكب الدوّارة لا تصدر أي ضوء خاص بها، فإن مناظيرنا الفلكية لا تكتشف إلا اهتزاز النجم الذي تدور حوله هذه الكواكب. وباستخدام هذه الطرق، وجد الفلكيون كوكبا يدور حول النجم أوسا الكبير ٤٧ star 47 ursae major على بعد ٢٠٠ تريليون ميل من الأرض، في مجموعة الدب الأكبر، وهذا الكوكب هو بضعف حجم المشتري. وهناك كوكب آخر يبلغ حجمه ٦ أمثال حجم المشتري، يدور حول النجم فيرجينس ٧٠ في مجموعة العذراء. إن معظم هذه الكواكب يبعد من ٢٠ إلى ٤٠ سنة ضوئية، وربما كان ذلك بعيدا جدا على مسابرنا الفضائية حتى في القرن الحادي والعشرين، ولكن الفلكيين في جامعة بيتسبورج اكتشفوا في يونيو عام ١٩٩٦ كوكبا قريبا بشكل ملحوظ، وهو كوكب بحجم المشتري، ولا يبعد إلا بـ ٨,١ سنة ضوئية. ويدور حول النجم لالاند ٢١١٨٥ LaLande، وهو نجم صغير أحمر يعدّ النجم الرابع الأقرب إلى الأرض. وقد وجدوا أيضا دليلا على وجود كوكبين أصغر في هذا النظام الشمسي.

وعلى الرغم من أنهم لم يعثروا على كوكب شبيه بالأرض، فإن ما يشجعهم هو أن نظام هذا النجم قريب جدا من الأرض، ويبدو أنه يشبه نظامنا الشمسي، ويقع على مسافة يمكن لسفينة مستقبلية أن تقطعها، مما يعطي حافزا إضافيا لبناء صواريخ، يمكنها أن تسافر لعدة سنوات ضوئية عبر الفضاء في القرن الحادي والعشرين. لقد دفع شبهها بنظامنا الشمسي وقربها من آلان بوس ليقول «إنها مذهلة! هذا هو ما كنا ننتظره».

ولسوء الحظ، بما أن هذه الكواكب ـ جميعها ـ أكبر من المشتري، فمن المحتمل أنها كواكب عملاقة مصنوعة من غاز الهيدروجين، ولذا فإن احتمالات العثور على أنواع من الحياة مؤلفة من الكربون مثلنا ضئيل. وإلى الآن، فإن هناك قيودا فنية تمنعنا من العثور على كواكب أصغر من المشتري.

العثور على كواكب شبيهة بالأرض في الفضاء

قد يتمكن الجيل التالي من الأجهزة الفلكية - خلال عشرة أعوام - أن يعثر على عدد من الكواكب الصغيرة بحجم الكرة الأرضية، قادرة على احتضان الحياة كما نعرفها. وقد يفتح هذا الأمر حقبة جديدة من الفلك من المحتمل أن تغير فكرتنا عن الحياة في الكون، وتظهر أن شروط الحياة فيه ليست مقيدة بالشكل، الذي تصورناه حتى الآن.

ويستحدث هذا الصنف الجديد من الأجهزة تصورا جديدا في مجال المناظير الفلكية، وهو التداخل البصري للضوء. وإلى الآن فقد قيدت المناظير الفلكية الضوئية بحجم المرايا المستخدمة فيها: فالمناظير الفلكية عبارة عن (أوعية ضوئية)، وكلما ازدادت كمية الضوء الملتقط في الليل، ازداد وضوح الصورة، ومع ذلك فإننا سنصل في النهاية إلى حدود فيزيائية لعملية تصنيع أو صقل المرايا، فالمرآة ذات القطر ٢٠٠ بوصة على جبل بالومار - على سبيل المثال - كانت تحفة هندسية بحيث إنها احتفظت بالرقم القياسي العالمي لأكبر مرآة تلسكوبية لحوالى ٦ عقود. إن المناظير الفلكية الحديثة مثل التوأم كيك في هاواي أكبر من تلك التي على جبل بالومار، وتستخدم تصاميم حديثة، مثل مرايا مصنوعة من قطع منفصلة متحركة من الزجاج. ولكن الفلكيين يقتربون تدريجيا من الحد الأقصى لما يمكن فعله باستخدام مرايا زجاجية عملاقة. ويستخدم جيل جديد من مناظير التداخل الفلكية حيلة لزيادة وضوحها. ونتيجة للتطورات الحديثة في الأجهزة، من الممكن الآن دمج الضوء القادم من تلسكوبين متميزين مفصولين بمسافة كبيرة (عن طريق السماح لهذه الإشارات الضوئية من منظارين أن يصطدما تماما في المنتصف، فإن مقدمتي الموجتين تتداخلان وتنتجان نموذجا متداخلا، وبتحليل نموذج التداخل هذا - بعناية - يمكن للمرء أن يحصل على صورة كما لو كانت من منظار فائق، حجم مرآته يعادل المسافة الفاصلة بين المنظارين؛ ولذا فبدلا من بناء مرايا بعرض أميال، وهذا مستحيل فيزيائيا، يمكن للمرء أن يستعمل منظارين أصغر مفصولين بعدة أميال لمحاكاة هذا المنظار العملاق الوحيد).

وستسرّع الأقمار أيضا بحثنا إلى حد كبير. وفي عام ٢٠٠١ ستطلق ناسا القمر كيبلر، وهو قمر حساس جدا، بحيث من المفترض أن يتمكن من

أن يرصد حتى ٢٤٠٠ كوكب جديد، يتوقع أن يكون حوالى ١٠٠ منها شبيها بالأرض. وبحدود ٢٠٠٧ ستشارك كيبلر أقمار أخرى مثل القمر «سبيس إنترفيروميتري»، والقمر «تيرستيريال بلانت فايندر»، وهذه الأقمار دقيقة، بحيث إنها تستطيع ـ إذا وضعت على الأرض ـ أن ترى رائدا فضائيا على القمر ينقل كشافا كهربائيا من إحدى يديه إلى الأخرى.

وقد تحتوي هذه الكواكب الشبيهة بالأرض أثمن شيء في الكون، وهو الماء السائل أو «المذيب العام». وكما نعلم فالماء السائل وحده لديه القدرة على حل جزيئات معقدة مؤسسة على الكربون، بحيث تتحد لتشكل المواد الأساسية للحياة: البروتينات والأحماض النووية.

جنة عدن في الفضاء

عندما تصبح الرحلات بعيدة المدى إلى الكواكب أمرا شائعا بعد عام ٢٠٢٠، سيبدأ البعض في المجتمع العلمي بالنظر في إنشاء مستعمرات في الفضاء، ولكن معظم هذا النقاش سيكون افتراضيا. وعلى الرغم من أن كلفة إرسال حمولات إلى الفضاء ستنخفض كثيرا بحلول ذلك الوقت، فإنها ستظل مكلفة جدا لإرسال أنواع الحمولات الكبيرة اللازمة لمحاولة بناء مستعمرات في الفضاء. علاوة على ذلك، فإن الظروف غير المواتية في الفضاء الخارجي، حيث يكون الناس مهددين بالأشعة الكونية والرياح الشمسية والنيازك الصغيرة ودرجات الحرارة تحت الصفر بشكل مستمر، تجعل أنظمة دعم الحياة مكلفة بشكل كبير. ولن يمنع هذا بعض المفكرين من وضع افتراضات علمية معقولة حول كلفة إقامة مستعمرات فضائية، مثل إقامة مستعمرة على القمر أو التشكيل الأرضي لكوكب آخر (أي جعله أكثر شبها بالأرض من حيث المناخ)، وكما قال المفكر الروسي كونستانتين تسيولكوفسكي مرة: «إن الأرض هي مهد الإنسان، ولكن المرء لا يستطيع أن يبقى في المهد إلى الأبد».

لقد أثار اكتشاف الجليد في منطقة القطب الجنوبي على القمر عام ١٩٩٦ إمكان بناء قاعدة على القمر على المدى الطويل. وفي السابق شكك العلماء في احتمال وجود جليد على القمر لأن أشعة الشمس الحارقة على

سطحه قوية بما يكفي لتبخر أي جليد، ومع ذلك، فقد اكتشفت مركبة الفضاء كليمانتاين جليدا في تجويف كان دائما في الظل. ويثير احتمال وجود الجليد على القمر إمكان إنشاء قاعدة دائمة عليه، واستخدام هذا الجليد أيضا كوقود للصواريخ، عن طرق تحليله إلى أكسجين وهيدروجين.

ويتمثل التحدي الآخر في إعداد الزهرة أو المريخ، وهما أقرب جيراننا في الفضاء، ليشبها الأرض، وهي مهمة صعبة بسبب مناخها غير المناسب. ويقول العلماء ـ الذين فكروا جديا في تهيئة الزهرة لتكون مثل الأرض ـ إن هذا مستحيل، فدرجات الحرارة على الزهرة ترتفع إلى درجة حارقة، بحدود ٩٠٠ درجة فهرنهايت (وهي أسخن من درجة حرارة موقد الخباز)؛ لأن غلافها الجوي المؤلف من غاز ثاني أكسيد الكربون، احتجز كميات كبيرة من الطاقة من الشمس. تماما كتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري عندما تخرج عن السيطرة. كما أن سفينة الفضاء ستتحطم مثل قشرة بيضة فضلا عن ذلك، فغلاف الزهرة الجوي الكثيف يعادل ٩٠ مرة من كثافة الغلاف الجوي للأرض، ومن المحتمل أن تتفكك السفينة الفضائية بسبب حمض الكبريت الأكال الموجود في السحب، ويستنتج كارل ساجان من ذلك «إن كل المقترحات لتحويل الزهرة إلى كوكب شبيه بالأرض، لا تزال بدائية وغير جذابة، ومكلفة جدا».

ويشكل المريخ رهانا أفضل، ولقد حصل هواة السينما على لمحة خاطفة عن عملية تحويل المريخ إلى كوكب أرضي في فيلم «Total Recall»، حيث يرمى أرنولد شوارزينجر في صحراء المريخ من دون بذلة فضائية. وبينما كان دمه على أهبة الغليان، وجلده على وشك التصدع، ينشط جهاز أجنبي لتهيئة المريخ على شاكلة الأرض، وبذا تنطلق كميات كبيرة من المياه من التربة المتجمدة، لتعيد تشكيل المحيطات القديمة على المريخ. ولكن إعادة المياه إلى المريخ، ستكون في الحقيقة مهمة صعبة، وهي أصعب من أي شيء يمكن التفكير فيه لقرن أو أكثر على الأقل، ومع ذلك فقد تكهن بعض العلماء بصنع بحيرات وبحار على المريخ، باستخدام شهب على شكل حقائب ثلجية ضخمة في الفضاء. وقد أرسل العلماء عام ١٩٨٦ سفينة فضائية لتلتقط صورا قريبة من مذنب هالي. وفي القرن الثاني والعشرين من المفترض أن تكون لدينا خبرة كبيرة في إرسال هذه الشهب. وبما أن هناك حوالى ٢٠٠ مليون مذنب

تقع، ربما ضمن حزام كويبر في نظامنا الشمسي، فقد دافع العلماء عن وضع دافعات صاروخية عليها من أجل حرف مساراتها بمقدار ضئيل جدا، ولكنه كافٍ لتغيير منحاها بحيث تصطدم بسطح المريخ. وبينما تحترق المذنبات في الغلاف الجوي الرقيق، فإنها ستخلق سحبا بخارية، تنتج في النهاية عواصف مطرية كبيرة على الكوكب. ومن أجل رفع درجة حرارة الكوكب، فقد اقترح العلماء إمكان توليد غازات الاحتباس الحراري على نطاق صغير على المريخ، فعن طريق الحقن المتعمد لمقادير صغيرة من كلورفلورو الكاربون CFC (وهي المركبات نفسها التي تُحرَّم على نطاق واسع على الأرض) والأمونيا إلى الغلاف الجوي. فالكلوريدات على سبيل المثال، يمكن تعدينها من الأحواض الملحية المتخلفة من محيطات وبحار المريخ الضخمة. إن نقل كميات كبيرة من الغازات المسببة للاحتباس الحراري من الأرض سيكون مكلفا جدا، ويتطلب عدة قرون من الرحلات بين الكواكب، والفكرة الفضلى لقرن أو قرنين في المستقبل، ستكون إنشاء محطات كيميائية من أجهزة الإنسان الآلي على المريخ، تصنع هذه الكيماويات مباشرة من التربة أو الغلاف الجوي، وستقوم هذه الأجهزة بتعدين سطح المريخ، وإقامة مصانع كيميائية ضخمة، وتولد تفاعلات كيميائية تنتج منها غازات الاحتباس الحراري.

ومع ارتفاع درجات الحرارة على المريخ، نتيجة اتأثير غاز الاحتباس الحراري المصغر، فإن الجليد المتجمد في مناطقه القطبية، والجليد الدائم تحت أرضه سيبدأ في الذوبان، مما يعطي أيضا كميات كبيرة من المياه. ولكن العملية مع ذلك بطيئة جدا، وحتى لو كانت ممكنة، فقد تستغرق قرنا آخر قبل أن تبدأ درجات الحرارة والضغوط في الوصول إلى معدلاتها على الأرض. إن المريخ هو الكوكب الوحيد، في النظام الشمسي، الذي يوجد احتمال كبير جدا في تحويله إلى كوكب مشابه للأرض، فعطارد حار جدا ومقفر، والمشتري والعمالقة الغازية الأخرى مركبة من غاز الهيدروجين، وهي باردة وبعيدة جدا. ولأحد أقمار زحل: تيتان غلاف جوي من النتروجين والميثان، ولكن المناخ بارد جدا على تيتان، ولا يصلح سوى لرحلات تقوم بها أجهزة الإنسان الآلي.

ومع ذلك يعتقد العالم الفلكي جون لويس أن حزام الكويكبات قد يشكل مكانا صالحا للعيش لمستعمري الفضاء، وهو يعتقد بأنه يمكن تفريغ الكويكبات لتأمين سكن آمن ربما لملايين المستعمرين (إن العيش ضمن الكويكبات، سيقدم حماية

من الأشعة الكونية والرياح الشمسية والقصف النيزكي)، ويمكن أيضا تعدينها للحصول على الخامات لبناء المصانع والمدن. وبما أنها تحتوي أيضا على كميات من الهليوم، فسيبني المستعمرون وحدات اندماج من أجل تأمين الطاقة لتجهيزاتهم. وبالنسبة للويس، فإن استعمار الفضاء الخارجي لا يتعلق كثيرا بالرومانسية والشهرة. فآجلا أم عاجلا سيضطر البشر إلى ترك الأرض، عندما يزداد عدد السكان وتنضب الموارد. وهو يعتبر تعدين القمر والكواكب والكويكبات مسألة بحتة للحفاظ على البقاء.

وإذا لم يكن بالإمكان تهيئة المريخ ليكون شبيها بالأرض، وفشلت القواعد على القمر، وتعذر تفريغ محتوى الكويكبات، فمن المحتمل أن علينا في النهاية أن نغادر النظام الشمسي، لنبحث عن كواكب أخرى يمكن العيش فيها -في مرحلة ما - في المستقبل البعيد، وباعتبار أن الكواكب الشبيهة بالأرض ستوجد حتما خارج نظامنا الشمسي، فسيكون هناك عدد متزايد من العلماء، الذين يدعون إلى بذل الجهد لإرسال مسابر إلى النجوم القريبة.

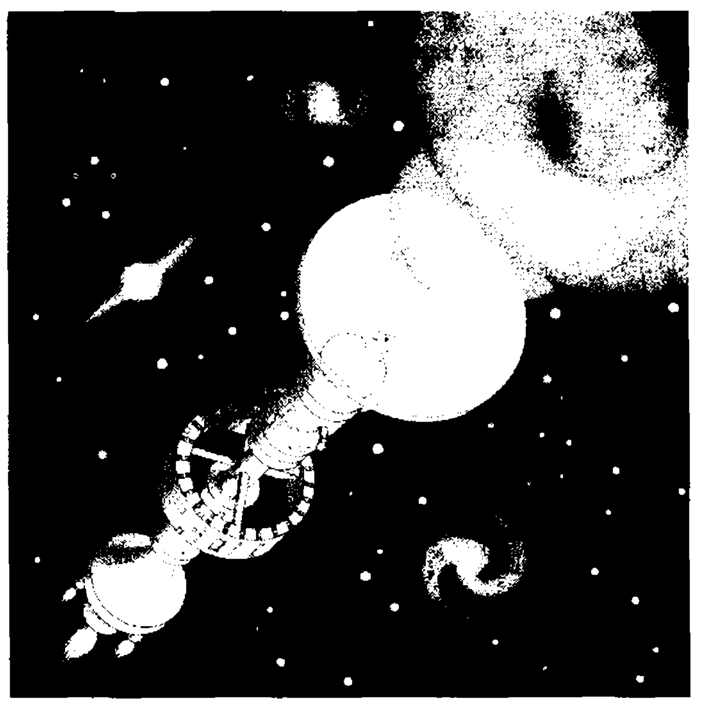
ما بعد ٢٠٥٠: بناء سفينة نجمية

إذا كانت قوانين الفيزياء حتى الآن واضحة جدا في وضع الإطار لاستكشاف الفضاء العميق، فإن عدم اليقين قد يأتي - بشكل رئيسي - من السياسة. إن الدفعة النوعية من صاروخ، واللازمة لرحلات بعيدة المدى بين الكواكب، في متناول المحركات الأيونية. ولكن المشكلات مع السفن النجمية تمد الفيزياء المعروفة إلى أقصى حدودها، وتتعدى إمكانات كوكبنا. ولقد اقتُرح عدد من التصميمات، ولكل منها مزايا ومساوئ. إن قوانين الفيزياء للسفر بين النجوم معروفة جيدا، ولكن من الصعب جدا بناء سفينة نجمية اقتصادية تؤمن سرعة كافية للوصول إلى النجوم.

إن هناك مشكلتين اثنتين أساسيتين بالنسبة للسفن النجمية: أولا، إن المسافة التي تفصلنا عن النجوم هائلة جدا. وعلى الرغم من أن حزمة الضوء التي تنتقل بحوالى ١٨٦ ألف ميل/ثانية قد تستغرق يوما للوصول من الأرض إلى الكواكب خارج نظامنا الشمسي، فإنها تستغرق أربع سنوات ضوئية لكي تصل إلى أقرب نجم، وهو ألفا سينتوري، ومائة عام للوصول إلى عدد من النجوم المألوفة التي

نراها في الليل. لذلك فإن سفينة نجمية تسافر بجزء صغير من سرعة الضوء، قد تستغرق عدة قرون للوصول إلى النجوم القريبة. وثانيا، إنه وفقا لنظرية أينشتين لا شيء على الإطلاق يمكنه أن يسافر أسرع من الضوء.

إن الدفعة النوعية اللازمة للاقتراب من سرعة الضوء هي بحدود ٣٠ مليون ثانية، وهي تتجاوز - إلى حد بعيد- قدرة تصاميم الصواريخ المقترحة إلى الآن. وعلى الرغم من ذلك، فقد قدم بعض مصممي الصواريخ الطموحين اقتراحات للسفر بين النجوم، وعلى رأس القائمة أشكال مختلفة من آلات الاندماج النووي. فآلات الاندماج العادية، التي هي عبارة عن أشكال مكبرة مختلفة لنماذج وجدت على الأرض، تصل دفعاتها النوعية من ٢٥٠٠ إلى ٤٠٠ ألف ثانية، وهذا مخيب للأمل؛ لأن الرقم لا يزال صغيرا جدا، بالمقارنة مع رقم «المليون السحري»، اللازم للوصول إلى نسبة معقولة من سرعة الضوء.



محرك الاندماج النفاث «يشفط» الهيدروجين من الفضاء العميق داخل فتحة الوقود. وهو أحد التصميمات التي تأخذنا في النهاية إلى النجوم، إذا ما أمكن حل بعض الأسئلة المتعلقة بعملية اندماج «البروتون/البروتون».

ومع ذلك، فإن أكثر أجهزة الاندماج إثارة، هو محرك الاندماج النفاث الافتراضي، الذي يمتص الهيدروجين السابح بين النجوم كوقود له أثناء ارتفاعه إلى الفضاء، بسرعة تقترب من سرعة الضوء. وبما أنه يعتمد على استخلاص وقوده من البيئة، فمن الممكن صنعه بحيث يكون خفيف الوزن إلى حد كبير بدلا من حمله للوقود، وذلك بالطريقة نفسها التي تمتص بها طائرة نفاثة تقليدية للهواء، لاستخدامه كمؤكسد. ومن حيث الشكل، يشبه هذا المحرك قمعا كبيرا يمتص جزيئات الهيدروجين عندما يتحرك إلى الأمام. ولقد اقتُرح هذا التصميم في الأصل عام ١٩٦٠ من قبل روبرت بوسارد، الذي قدر أن سفينة نجمية تزن ١٠٠٠ طن، يمكنها أن تتسارع بشكل غير محدود عند ١ g (أو ٣٢ قدما/ثانية٢). وهذا ملائم لأن البشر في السفينة النجمية سيدفعون نحو أرضها، وسيشعرون بجاذبية اصطناعية تشبه الجاذبية على الأرض، ولقد قدر أن السفينة النجمية يمكن أن تقترب تدريجيا من سرعة الضوء خلال عام واحد.

ويمكن السفر بشكل مريح بقوة تعادل1g، وبظروف مقاربة لظروف الأرض على متن السفينة النجمية، والوصول إلى أقرب نجم خلال خسمة أعوام، ولكن بما أن الزمن يتباطأ فوق ظهر السفينة النجمية، بحسب نظرية أينشتين، فقد يصل المسافرون إلى تجمع نجوم بلايدس M45 PLeiades ، والذي يبعد حوالى ٤٠٠ سنة ضوئية في وقت قصير يقدر بـ ١١ عاما، يقاس بالساعات على ظهر السفينة النجمية. وبعد ٢٥ سنة من الزمن على ظهر السفينة، يمكن لمثل هذه السفينة أن تصل إلى مجرة أندرومادا العظيمة (بينما يكون قد مر أكثر من مليوني سنة على سطح الأرض).

وعلى الرغم من جاذبية النفاث الاندماجي، فإنه لم يعد محبذا، وتتمثل نقطة الضعف الأساسية في المقترح في أن النفاث الاندماجي يعتمد على دمج البروتونات، التي تستخلص من أعماق الفضاء. إن عملية دمج بروتون - بروتون أصعب بكثير من عملية دمج ديوتوريوم - تريتيوم العادية المستخدمة في آلات الاندماج النموذجية على سطح الأرض. ولم تتطور تكنولوجيا الاندماج إلى الآن بما يكفي، لتقدم أي مقترحات مؤكدة حول قدرة النفاث الاندماجي وعلى الأخص عملية دمج بروتون - بروتون الأصعب. ولكن بما أن النفاث الاندماجي لم يخترق أي قانون معروف في الفيزياء، بل فشل بكل بساطة لأسباب تكنولوجية وجيهة، فقد أجريت

سلسلة من التعديلات على الفكرة عبر عدة عقود. ومع توافر فهم أفضل للاندماج عبر عدة عقود أخرى، فقد يبرهن النفاث الاندماجي على أنه إمكان مجدٍ.

صاروخ دفع نووي

ربما كان أغرب جهاز اقتُرح بشكل جدي للسفر بين النجوم هو الصاروخ المدفوع نوويا. سيستخدم هذا الصاروخ عدة انفجارات نووية هيدروجينية في الخلف لدفعه إلى الأمام، بواسطة كل موجة صدم نووية ناتجة عن هذه الانفجارات. لقد اقتُرح المبدأ الأساسي عام ١٩٤٦ من قبل ستانيسلو أولام من لوس ألاموس (والذي صمم أول قنبلة هيدروجينية واقترح إجراء تحليل الـ «د.ن.أ» على الكمبيوتر)، ولقد بيَّن أنه إذا غُطي لوح فولاذي بالجرافيت، و وضع على مسافة معينة من قنبلة نووية، فإن موجة الانفجار ستدفع الصفيحة بدلا من أن تحطمها، وإذا ألصقت ماصات للصدمة بالصفيحة، فإن المجموعة ستتحرك بعد ذلك بواسطة الانفجار النووي.

ولقد مر صاروخ الدفع النووي الافتراضي خلال تجسيدات عدة: مثل مشروع أوريون ١٩٥٨ ـ ٦٥، ومشروع دايدالوس ١٩٧٣ ـ ٧٨. وستكون الدفعة النوعية العظمى ـ التي يمكن الحصول عليها بمحرك دفع نووي، وهي بحوالى مليون ثانية ـ كافية للوصول إلى النجوم القريبة خلال عدة عقود أو قرون. ويمكن لمسبار دايدالوس ـ حسب أحد الحسابات ـ أن يستخدم تفجيرات مصغرة متتالية، لرفع سرعته تدريجيا إلى حوالى ١٢ في المائة من سرعة الضوء، في رحلة باتجاه واحد، ولمدة ٥٠ عاما إلى النجم برنارد (الذي يبعد ٥٩ سنة ضوئية).

وهناك عدد من العقبات الكبيرة قد تواجه هذا النوع من الصواريخ: مثل إشعاعات X الكثيفة، والحرارة الناجمة عن الانفجار، التي يمكن أن تسبب الخطر للطاقم، ولثبات بنية السفينة. ولأنها تتطلب تناغما دقيقا لفيزياء الانفجارات الحرارية النووية، فهي تتطلب معرفة متقدمة بالتجارب النووية، والذي يتعارض بشدة مع الاتجاه الحالي لتوقيع معاهدة شاملة لتحريم هذه التجارب. وأكثر من ذلك يمكن استخدام هذه التكنولوجيا في الحرب أيضا،

ويمكن لها أن تنشر أخطارا نووية جديدة، وربما يفوق خطر اللعب بهذه التكنولوجيا مزاياها (إن ثيودور تيلر مصمم القنبلة النووية، الذي قاد مشروع أوريون لمؤسسة الديناميك العامة في الستينيات، يدعو الآن إلى الحظر الكامل على الأسلحة النووية).

المحركات والأشرعة الفوتونية

بالمعدل الأسي الذي يطور به الفيزيائيون الليزرات لعدد مدهش من الأغراض، فإن إمكان استخدام الليزر لتزويد سفينة نجمية بالطاقة في نهاية القرن الحادي والعشرين، لن يكون خارج حدود الفيزياء. ويستخدم تصميم دُعي بالمحرك الفيتوني.، الذي هو في الأساس ليزر قوي، ضغط الضوء لتحريك نفسه في الفضاء، ولقد اقترحت أنواع مختلفة عديدة منه. وسيستخدم أحد هذه الأنواع ليزرا قويا موجودا على الأرض أو القمر لدفع شراع شمسي في الفضاء، وعادة فإن لدى الأشرعة الشمسية - التي تستخدم ضغط ضوء الشمس - مشكلات بسبب ضعف هذا الضوء في الفضاء السحيق. ومن زحل حتى نبتون ، فإن الشمس ليست أشد سطوعا من نجم عادي، لذا فليس من المدهش أن يكون الشراع الشمسي ضخما وبعرض يقدر بمئات الأميال، كي يلتقط كمية كافية من أشعة الشمس للإبحار في الفضاء. ومن الصعب أيضا المناورة بمثل هذه السفينة الفضائية من أجل رحلة العودة، فقوارب الإبحار العادية تستطيع أن تجرف الماء لتغيير اتجاهها، ولكن الأشرعة الشمسية لا تستطيع ذلك (ما لم تستخدم طرقا متطورة غير مجربة للتجديف ضد المجال المغناطيسي للفضاء الخارجي). والأكثر أهمية هو أنها بطيئة جدا، وتستغرق عدة سنوات لتصل إلى سرعة ثابتة، ومتى وصلت إلى سرعة عالية، فإنها تجد صعوبة في الإبطاء.

ويمكن حل عدد من المشكلات إذا استخدمنا شعاعا ليزريا على القمر لدفع الشراع. ومن أجل رحلة العودة، يمكن للشراع الشمسي أن يلف حول النجم، وأن يستخدم قوة الدفع الناتجة عن ظاهرة التسارع باستغلال الجاذبية، من أجل دفع رحلة العودة (ولكن ذلك يعني أن السفينة لن تتمكن من

الوقوف والهبوط على أي كوكب، وعليها أن تستخدم مسابر صغيرة، إذا أرادت الحصول على معلومات حول كواكب خارج الشمس).

إن المشكلة الكبرى بالنسبة لمحرك الشراع الشمسي الليزري، هي الاحتياجات من الطاقة. ويظهر أحد الحسابات أن طاقة الحزمة الليزرية يجب أن تكون بمقدار ١٠٠٠ مرة من الناتج الحالي للأرض، كما أن الوقت اللازم للوصول إلى النجوم قد يكون عدة مئات من السنين، وهي مدة طويلة جدا لضمان استمرار تأييد السياسيين لتطوير حزمة الليزر. هناك نسخة أخرى تحتوي على شراع أكثر تواضعا، مصحوب بمحرك نفاث اندماجي. وقد يساعد التركيب المؤلف من ليزر مع محرك نفاث اندماجي على حل بعض المشكلات بالنسبة للطاقة والدفعة النوعية..وغيرها، وهناك أيضا تصاميم أكثر مستقبلية، مثل محرك مضاد المادة، ومحركات أخرى تستغل ظواهر كونية في الوصول إلى سرعات كبيرة للغاية. ولا يزال تحقيق مثل هذه الآلات بعيدا لقرون عدة، هذا إذا كان من الممكن بناؤها على الإطلاق. وكما حذرنا سابقا فإن كلفة محرك مضاد المادة، إذا أمكن بناؤه، مستحيلة اقتصاديا، أما إمكانات المحركات الأخرى فستناقش في الفصل السادس عشر.

تجميد الحياة

يتطلب معظم التصميمات - الملخصة أعلاه - من السفن عقودا بل قرونا للوصول إلى نجوم مجاورة، ولذا فمن المحتمل أن تكون سفن النجوم في بداية الأمر، على الأقل، من دون ملاحين. ومع ذلك إذا كنا جادين بخصوص إرسال بشر إلى الفضاء، فعلينا أن نلجأ إلى نوع من أنواع تجميد الحياة لهذه الرحلات الطويلة الشاقة. إن تجميد الحياة أكثر بدائية مما تسعى الصحافة الشعبية إلى الاعتقاد به، على الرغم من أن عددا من المشاهير أوصوا بتجميد أجسادهم في النتروجين السائل بعد موتهم.

ولسوء الحظ فهناك مشكلات فنية معقدة بالنسبة لتجميد الحياة. إحدى هذه المشكلات هو تشكل بلورات الثلج داخل الخلايا عندما يتجمد الجسم. وتنمو هذه البلورات الثلجية حتى تخترق في النهاية جدران الخلية. وسيعاني

أي شخص مجمد تلفا لا يمكن إصلاحه في أعضائه الحيوية. كما أن عملية التسخين تتلف الأنسجة، فبينما نرفع درجة الحرارة إلى نقطة الانصهار، تبدأ بلورات الثلج في الاندماج مع بعضها، مما يؤدي إلى ضغط الخلايا وتشويهها وتصدعها. ومن الصعب - على سبيل المثال - في الوقت الحاضر المحافظة على كلى وأكباد حية بالتجميد لأكثر من ٣ أيام، وعلى قلوب ورئات لأكثر من نصف يوم، وهذا هو السبب في أنه من الصعب، باستثناء النطف وخلايا الدم، تجميد أعضاء الإنسان. وقد حاول بعض العلماء تجميد الأنسجة بسرعة كبيرة جدا لتقليل تشكل بلورات الجليد الخطرة هذه، وقد دعيت هذه العملية بالتزجيج Vitrifcation. وعلى الرغم من أن طريقة التجميد السريع هذه تؤخر - في الحقيقة - تشكل بلورات الجليد، فإنها تثير مشكلة أخرى. فالشحوم الموجودة في غشاء الخلية، التي هي عادة على شكل سائل تصبح على شكل هلام (مثل تجلط شحم الحيوان عندما يبرد). ونتيجة لذلك يصبح غشاء الخلية قابلا للتسرب، وتموت الخلايا بسرعة، عندما يُعطل توازنها الكيميائي الدقيق.

لقد صممت الطبيعة، مع ذلك، عددا من الآليات الذكية، تستطيع بواسطتها الحيوانات ذات الدم البارد البقاء على قيد الحياة، في شتاء جليدي قاسٍ. فالسمك، على سبيل المثال، يمكنه أن يسبح في مياه قطبية تحت درجة التجمد، ويمكن للضفادع أن تتجمد بحيث تصبح صلبة، ومع ذلك يمكن رفع درجة حرارتها لتعيش. لقد بينت أبحاث حديثة - الآن - الآليات الحيوية التي تجعل هذا الأمر ممكنا. فقد طور السمك طريقة لإنتاج بروتينات تعمل كمضاد للتجمد، مما يسمح له بأن يسبح في المياه القطبية ، بحوالى درجتين مئويتين تحت التجمد. وهي كافية بالنسبة له للبقاء على قيد الحياة في هذه المياه المتجمدة الباردة، وبالمثل فقد طورت الضفادع آليتين تسمحان لها بالبقاء حتى بعد أن تتجمد في قالب جليدي. فالضفادع تمتلك - أولا- مواد كيميائية مضادة للتجمد مثل الجلوكوز. والأكثر من ذلك هو أن لدى الضفادع القدرة على المحافظة على مستويات جلوكوز عالية ضمن الخلية ، ولذا لا تتشكل بلورات الثلج أبدا دخل الخلية، حتى ولو تجمد الضفدع وأصبح صلبا. وبأقلمة هذه الطرق استطاع العلماء إطالة عمر بعض أعضاء الثدييات لعدة ساعات، ولكن ليس إلى مرتبة الأسابيع أو السنين اللازمة لسفر فضائي.

وباختصار، فإن تجميد الحياة للإبقاء عليها، لا تزال تكنولوجيا غير مثبتة حتى الآن.

ما بعد ٢١٠٠: مكاننا بين النجوم

يكمن مصير البشرية في النهاية في النجوم؛ وليس هذا تفكيرا خياليا من قبل مستقبليين بلا أمل، بل إنه أمر تحتمه قوانين فيزياء الكم، فالفيزياء تخبرنا بأن الأرض لابد أن تموت في النهاية. وبما أنه من المحتم أن تدمر الأرض في وقت ما في المستقبل، فإن برنامج الفضاء قد يكون في النهاية خلاصنا الوحيد كجنس. وفي وقت ما في المستقبل البعيد، إما أن نبقى على الكوكب ونموت معه ، وإما نتركه ونهاجر إلى النجوم. لقد كتب كارل ساجان أن حياة الإنسان أغلى من أن تتقيد بكوكب واحد، وكما أن أجناس الحيوان تزيد من فرص بقائها بالانتشار والهجرة إلى مناطق مختلفة، فإن على البشرية أن تستكشف في نهاية المطاف عوالم أخرى من أجل مصلحتها الخاصة على أقل تقدير. إن قدرنا هو أن نتجه نحو النجوم.

إن الحد الأقصى لوجود الأرض هو بحدود ٥ بلايين عام. عندما تستنفد الشمس وقودها الهيدروجيني، وتتحول إلى نجم أحمر ضخم، وفي ذلك الحين سيتمدد الغلاف الجوي للشمس بشكل كبير حتى يصل إلى مدار المريخ، وعلى الأرض ستغلي المحيطات تدريجيا، وستنصهر الجبال وستشتعل السماء، وسوف تحترق الأرض وتتحول إلى رماد.

لقد تساءل الشعراء منذ وقت طويل إن كانت الأرض ستموت وتتحول إلى نار أو جليد، وتحتم قوانين الكم الجواب: ستموت الأرض في النار. ولكن حتى قبل ذلك الوقت النهائي بعد ٥ بلايين سنة من الآن، عندما تستنفد الشمس وقودها، فإن البشرية ستواجه سلسلة من الكوارث البيئية، التي يمكن أن تهدد بقاءها مثل الاصطدامات الكونية، والعصور الجليدية الجديدة، وانفجارات النجوم المستعرة.

الاصطدامات الكونية

تقع الأرض داخل قاعة رماية كونية مليئة بآلاف النيوز NEOs (أجسام قريبة من الأرض)، والتي يمكنها أن تمسح الحياة من على سطح الأرض.

ويعتقد بعض العلماء في مختبر الدفاع النفاث في كالتك أن ٢٠٠٠ أو أكثر من الكويكبات بحجم الجبال تحوم في الفضاء دون أن تكتشف، وفي عام ١٩٩١ قدرت ناسا أن هناك ١٠٠٠ إلى ٤ آلاف كويكب بعرض أكبر من نصف ميل، تعترض مدار الأرض، ويمكن لها أن تسبب تخريبا كبيرا للحضارة الإنسانية. ويقدر علماء الفلك في جامعة أريزونا أن هناك ٥٠٠ ألف كويكب قريب من الأرض، بعرض أكبر من ١٠٠م، و١٠٠ مليون كويكب تعترض مدار الأرض بعرض ١٠ أمتار.

ومن المدهش أن هناك، كل عام، اصطداما كويكبيا بالمتوسط، يخلق حوالى ١٠٠ كيلوطن من القوة المتفجرة (ومن حسن الحظ أن هذه الكويكبات تتحطم عادة عاليا في الغلاف الجوي، ونادرا ما تصطدم بسطح الأرض). وفي يونيو عام ١٩٩٦، كادت أن تقع حادثة مع هذه الكويكبات، فقد اقترب الكويكب JAI ١٩٩٦، الذي يبلغ عرضه ثلث ميل إلى مسافة ٢٨٠ ألف ميل من الأرض أو أبعد قليلا من القمر، وكان من الممكن له أن يضرب الأرض بقوة تكافئ ١٠ آلاف ميجا طن من الطاقة التفجيرية (وهي أكبر من مخزون الأسلحة النووية الروسية والأمريكية).

ولقد كان هناك عدد من الحقائق المقلقة جدا المتعلقة بكويكبي ١٩٩٣ JAI و١٩٩٦ JAI، فلقد كانت أولا غير مكتشفة، وظهرت فجأة كأنها آتية من الفراغ، وثانيا فإنها لم تكتشف من قبل أي منظمة للرقابة تدعمها الحكومات (لا توجد واحدة) ولكنها اكتشفت بطريق المصادفة فقط (لقد عثر طالبان من جامعة أريزونا بالمصادفة على ١٩٩٦ JAI).

إن كويكبا بقطر كيلومتر واحد فقط سيسبب دمارا كونيا عند اصطدامه بالأرض. ويقدر الفلكي توم جيرلس، من جامعة أريزونا، أن طاقته ستكون بحدود مليون قنبلة من قنابل هيروشيما، ويضيف قائلا: إذا ضرب هذا الكويكب الساحل الغربي، فإنه سينهار كما في هزة أرضية، وستنهار كل الأبنية في نيويورك «وسوف تسوي موجة الاصطدام معظم أنحاء الولايات المتحدة بالأرض. وإذا ضربت المحيطات، فإن موجة المد التي تخلقها يمكن أن تكون بارتفاع ميل، وهذا كاف لغمر معظم المدن الساحلية في العالم. وعلى اليابسة، فإن الغبار والتراب الناجمين عن اصطدام الكويكب، واللذين ينطلقان إلى الجو، سوف يحجبان أشعة الشمس، ويسببان هبوط درجة الحرارة بشكل كبير على الأرض.

لقد وقع آخر اصطدام ضخم في سيبيريا في ٣٠ يونيو ١٩٠٨، قرب نهر تونجوسكا. عندما انفجر مذنب أو نيزك بقطر ٥٠ ياردة في الجو، مما سبب تسطيح ما يقارب ١٠٠٠ ميل مربع من الغابة، كما لو أن يدا ضخمة هبطت من السماء، ولقد سُجلت الاهتزازات إلى مسافات وصلت حتى لندن. ومنذ حوالى ١٥ ألف سنة ضرب أحد النيازك أريزونا، مسببا فجوة بارينجر الشهيرة، وخالقا حفرة بعرض ¼ الميل تقريبا، وقد أحدثت هذه الحفرة بفعل نيزك حديدي بحجم بناء مؤلف من ١٠ طوابق. وربما أبيدت الديناصورات منذ حوالى ٦٤،٩ مليون سنة (وذلك بحسب التاريخ الإشعاعي) بفعل شهاب أو نيزك ضرب منطقة يوكاتان في المكسيك حافرا فجوة ضخمة بقطر ١٨٠ ميلا، مما جعله أضخم جسم ضرب الأرض في البليون سنة الأخيرة.

إن أحد الاستنتاجات من هذا الشرح، هو أن اصطدام مذنب أو نيزك يمكنه أن يهدد الحضارة الإنسانية أمر محتم في المستقبل. وأكثر من ذلك فقياسا على الحوادث السابقة، يمكننا أن نعطي تقديرا قريبا من الواقع للفترة الزمنية، التي يمكن أن نتوقع فيها اصطداما آخر. واستنباطا من قوانين نيوتن في الحركة، فهناك ٤٠٠ كويكب بقطر أكبر من كيلو متر واحد تعترض الأرض، وستصدمها حتما في وقت ما في المستقبل ولذلك، فإننا نتوقع أن نرى في الـ ٣٠٠ سنة القادمة اصطداما آخر بحجم تونجوسكا، يمكنه أن يمحو مدينة بأكملها. وعلى مدى آلاف السنين نتوقع أن نرى اصطداما آخر من نوع بارينجر، والذي يمكنه أن يدمر منطقة بكاملها. وعلى مدى ملايين السنين، فإننا نتوقع أن نرى اصطداما آخر قد يهدد وجود البشر. ولسوء الحظ، فإن لهذه الكويكبات (عامل تذبذب) مرتفعا، ونتيجة لذلك فقد خصصت ناسا مليون دولار ـ فقط في العام ـ لتحديد هذه الأجسام القاتلة للكواكب، ويقوم عدد بسيط من الهواة بإنجاز هذا العمل.

الموت في النار والجليد

سيحدث عصر جليدي آخر بالتأكيد. وربما في حدود ١٠ آلاف سنة أو ما يقرب من ذلك. وقد يكون العصر الجليدي العظيم الأخير قد أثر في

تطور أنواعنا، مقسما أسلاف البشر إلى أجناس مختلفة منذ حوالى ١٠٠ ألف عام مضت. ولقد سمحت فترة دافئة وجيزة في هذا العصر الجليدي منذ حوالى ١٠ آلاف سنة بنشوء الحضارة، ولكن هذه الحضارة قد تتوقف عندما تنتهي فترة الدفء الوجيزة التي نعيش فيها. وقد تغطي أجزاء ضخمة من أمريكا الشمالية مرة أخرى بـ «ميل» من الجليد، كما كانت في العصر الجليدي الأخير. ولسوء الحظ فلا أحد يعلم ما الذي يسبب العصور الجليدية، ولكن أكثر النظريات قبولا يقول بأنها تنجم عن اهتزازات صغيرة جدا في دوران الأرض.

وإذا لم نمت في الجليد، فيمكن أن نموت في اللهيب: إن النجوم المستعرة الموجودة على بعد عدد من السنوات الضوئية من الأرض، يمكن أن تغطي الكوكب بمطر قاتل من أشعة إكس، الذي يبيد كل أشكال الحياة على سطح الأرض. وتحدث ظاهرة النجوم المستعرة في مجرتنا مرة كل ٥٠٠ سنة، أو ما يقرب من ذلك. وبتحليل نجم مستعر انفجر عام ١٩٨٧، تمكن الفيزيائيون من تأكيد نظريتنا حول الطاقة المتولدة من النجم المستعر، عندما تتوقف عملية الاندماج فجأة في نجم مسن، خالقة انهيارا ضخما في الجاذبية. ولحسن الحظ، فإننا نعلم مقدارا جيدا حول تطور النجوم، وسيكون لدينا وقت كافٍ لنحذر من تحول نجم قريب إلى نجم مستعر.

ولكن إذا افترضنا أن كارثة محدقة ـ من نوع ما ـ ستجبرنا على مغادرة نظامنا الشمسي، فماذا يمكن أن نجد؟ هل يوجد أحد هناك؟

كائنات أخرى من الفضاء

أجرى الفلكي فرانك دريك من جامعة كاليفورنيا في سانتا كروز أول تقدير معقول لعدد الكواكب، التي تؤوي حياة عاقلة ضمن مجرتنا (درب التبانة)، والتي تحتوي بشكل تقريبي على ٢٠٠ بليون نجم. وبإجراء سلسلة من الافتراضات المعقولة (مثل عدد النجوم التي تشبه نجمنا وعدد النجوم التي لها كواكب، وعدد الكواكب التي تشبه الأرض، وعدد الكواكب الشبيهة بالأرض، والتي تحتوي على حياة... وما إلى ذلك)، يمكن للمرء أن يحصل على

تقدير باحتمال وجود ١٠ آلاف كوكب، يمكنها أن تؤوي حياة عاقلة في مجرتنا. ونتيجة لذلك يعتقد العلماء أن الكون يعج بأشكال الحياة العاقلة، وما يفرقنا هو فيما إذا سبق لها أن زارت الأرض أم لا؟

خلال الحرب العالمية الثانية، عندما كان العلماء في مشروع مانهاتن قلقين بشأن تقدم الألمان في أوروبا، كانوا غالبا ما يطرحون أسئلة تتعلق بالكون خلال فترة الغداء. وفي إحدى المرات تحول الحديث إلى الأجانب في الفضاء، وقد قاطع أنريكو فيرمي حائز جائزة نوبل، الذي كان لديه عقل منفتح حول هذه الأمور، الحديث ليسأل: «ولكن أين هم؟». إن سؤال فيرمي لا يزال يقلقنا اليوم، ومثل معظم العلماء، فإنني أعتقد أن هناك حياة عاقلة في الفضاء الخارجي، إنه ببساطة لنوع من العجرفة أن نعتقد أننا المخلوقات الحية العاقلة الوحيدة بين بلايين الكواكب الشبيهة بالأرض في الكون، ومع ذلك لم يجد مشروع SETI (البحث عن ذكاء خارج الأرض) إلى الآن، أي إشارة تدل على وجود حياة عاقلة.

لقد مسح الفلكيون الفضاء على بعد ١٠٠ سنة ضوئية من الأرض، بحثا عن إشارة لاسلكية أو تلفزيونية، ولم يعثروا على أي دليل لإشارة من الفضاء، تشير إلى وجود حياة عاقلة. لقد أصدر كوكبنا إشعاعات كهرومغناطيسية على شكل موجات تلفزيونية ولاسلكية للخمسين سنة الماضية، ونتيجة لذلك توجد كرة تحيط بالأرض بقطر ٥٠ سنة ضوئية، تتمدد بسرعة الضوء، وتحتوي هذه الكرة المتمددة على عينة ضخمة تمثل الإنجازات الحضارية على كوكب الأرض. ويمكن لأي كوكب يقع ضمن ٥٠ سنة ضوئية من الأرض أن يكتشف إشاراتنا (على الرغم من أنهم عندما يفكون شفرة بعض برامجنا. فإنهم سيتساءلون فيما إذا كانت هناك حياة عاقلة على الأرض أم لا).

إنه لأمر محير ألا نكتشف أي إشارات صادرة عن كائنات في كواكب أخرى، ولكن هذا لا يمنع الناس (بما في ذلك العلماء) من التخمين حول ما يمكن أن يكون عليه شكل الكائنات الأخرى.

هل سيبدون شبيهين بنا؟

في عدد لايحصى من الأفلام التلفزيونية الوثائقية، وأوصاف شهود عيان، وكتب الإثارة، وعناوين الصحف الشعبية وأفلام تشريح الجثث الغريبة،

والمقابلات مع مخطوفين، تظهر صورة ثابتة عن «الكائن القادم من كواكب أخرى». صورة كائن قصير، ونحيل، وشاحب بعينين كبيرتين ورأس ضخم. ولكنك إذا نظرت إلى التنوع الغني لأشكال الحياة على هذا الكوكب فقط، فسترى أن الطبيعة قد خلقت الملايين من نماذج الجسم المحتملة، والتي هي أخصب خيالا من التصاميم المحافظة، التي تقدم في الخيال العلمي، والتي يختلف معظمها بشكل بسيط فقط عن نموذج الجسم البشري. (لقد تكونت الأسطورة بأن أشكال الحياة الأخرى في الكون يجب أن تبدو شبيهة بالبشر جزئيا، من صور الكائنات القادمة من كواكب أخرى، التي تظهر في الأفلام، وربما حصر عقد نقابة ممثلي السينما تمثيل هؤلاء الأغراب في أعضاء هذه النقابة فقط).

يعتقد معظم علماء البيولوجيا الكونية أن هناك عددا محددا فقط من المعايير الأساسية للحياة العاقلة. على سبيل المثال، إذا تفحصنا كيف أصبحت أصنافنا ذكية، فإننا في حاجة إلى النظر لأيدينا فقط. إن إبهاماتنا، التي استخدمت أساسا لالتقاط أغصان الشجر، كانت مفتاح تحكمنا في البيئة. إن تلك القرود التي طردت من الغابة منذ حوالى خمسة ملايين سنة مضت، والتي أقلمت إبهاماتها، من التأرجح على الشجر، إلى التقاط الأدوات، بقيت على قيد الحياة وازدهرت، بينما ماتت تلك التي لم تستطع ذلك. وبعبارة أخرى، فالإنسان لم يصنع الأدوات، بل الأدوات هي التي صنعت الإنسان.

إن عيوننا المجسِّمة هي عيون صياد. وبصورة عامة فإن الحيوانات بعيون جانبية أقل ذكاء من الحيوانات بعيون في مقدمة الوجه، ويعود هذا إلى أن الحيوانات بعيون جانبية مثل الأرانب والغزلان هي فريسة عادة، وعليها أن تحتفظ بعين ساهرة لوجود الصيادين. بينما تستخدم الحيوانات ذات العيون في الواجهة مثل: الذئاب والنمور والقطط والأسود عيونها المجسمة للانقضاض على الفريسة.

وأخيرا، فنحن كائنات اجتماعية، يمثل الاتصال والثقافة بالنسبة لها أمرا حاسما، وتمكننا اللغة من مراكمة الثقافة والعلم عبر مئات الأجيال، وتعطينا حكمة وخبرة أناس لم نقابلهم من قبل. وعندما ننظر من منظور البيولوجيا الخارجية، نستطيع الآن أن نلخص المعايير القليلة للحياة الذكية في الفضاء:

أولا: نوع من العيون (وهذا لا يعني العينين اللتين نجدهما في وجوهنا،

فقد يعني هذا عدة عيون، أو ربما عضوا تحسسيا جديدا تماما لجمع المعلومات حول البيئة).

ثانيا: نوع من الأيدي للتحكم في البيئة (وهذا لا يعني يدين فقط، فقد تكون هناك عدة أيادٍ أو حتى مجسات).

ثالثا: نوع من أنواع اللغة لمراكمة المعرفة والثقافة.

لاحظ أن هذه المعايير الثلاثة تعطي مقدارا كبيرا من الارتقاء لبناء أشكال جديدة من الحياة الذكية.

إن شكل الجسم الذي تربطه هوليوود بالكائنات العاقلة (على سبيل المثال، التناظر الثنائي، والرأس والعنق والجذع والذراعان والأرجل الشبيهة بالقرد) له علاقة محدودة جدا بهذه المعايير. وحتى على سطح الأرض، يمكن للمرء أن يتخيل أشكالا أخرى من الحياة تطور هذه الخصائص الثلاث، وتصبح عاقلة تدريجيا، وهي بدورها لن تشبهنا بأي وجه، وعلى سبيل المثال، فإن الحيتان ذكية نسبيا، ولكنها تتنفس عبر ثقب في أعلى رأسها.

إن السؤال الأخير الذي يسأله العلماء هو: كيف ستبدو الحضارات في الكواكب الأخرى؟ إن صعودها في الفضاء عبر مئات السنين الضوئية يجعلها متقدمة علينا تكنولوجيا بمئات إن لم يكن بآلاف السنين. لقد أخذ العلماء، الذين يبحثون عن حياة خارج الأرض، هذه المسألة بشكل جدي. وباستخدام قوانين الفيزياء، في تأمل كيف يمكن للحضارات في الكواكب الأخرى أن تحصل على طاقتها لآلاف السنين في المستقبل، يمكننا أن نحصل على صورة أفضل لما يفترض أن يكون عليه رقي هذه الحضارات. ومن خلال استخدام الفيزياء في تحديد طبيعة الحضارات المتقدمة علينا بآلاف السنين تكنولوجيا، يمكننا البدء برؤية مستقبلنا.



15 نحو حضارة كوكبية

«مصيرنا ليس شيئا ينبغي انتظاره، بل هو شيء يتعين إنجازه»

وليام جيننج برايان

في الماضي غيرت الثورات العلمية، مثل إدخال البارود والآلات وطاقة البخار والكهرباء والطاقة الذرية، الحضارة بشكل غير معهود. والسؤال الذي يجب أن نوجهه إلى أنفسنا هو: كيف ستعيد ثورات الكمبيوتر والكم والثورة البيوجزيئية، بشكل مماثل، تشكيل القرن الحادي والعشرين؟

إن الاكتشافات العلمية سوف تتسارع في القرن الحادي والعشرين، وستقدم لنا الثورة البيوجزيئية وصفا جينيا كاملا لكل الكائنات الحية، معطية إيانا الفرصة لأن نصبح مخططين للحياة على الأرض. وستعطينا ثورة الكمبيوتر أجهزة ذات قدرات مطلقة وغير محدودة، واضعة في النهاية الذكاء الاصطناعي في متناول أيدينا. أما ثورة الكم فستعطينا مواد جديدة، ومصادر طاقة جديدة، وربما تتيح لنا الإمكان لخلق أشكال جديدة من الحياة. وعلى ضوء هذا، فكيف يمكن أن تبدو حضارتنا بعد عدة قرون في المستقبل بناء على مثل هذا التقدم السريع؟

بالطبع، لا أحد يمتلك كرة سحرية، ليتنبأ كيف سيبدو مستقبل الحضارة، ومع ذلك، فإن هناك حقلا من حقول العلم، يكون فيه هذا السؤال محور الاختبار، لقد استكشف فيزيائيو الفلك ـ بشكل نشط ـ نوع الحضارات، التي قد توجد في المستقبل البعيد، ربما بعد قرون أو آلاف السنين من الآن. ويستخدم فيزيائيو الفلك قوانين الفيزياء لاقتراح دلائل تخمينية، من أجل تحليل الحضارات من خارج الأرض، والتي تفيد كنموذج لإرشاد تفكيرنا، حول تطور كوكبنا بعد عدة آلاف من السنين. وبما أن عمر الكون هو تقريبا ١٥ بليون سنة، فمن المحتمل وجود حضارات في المجرة، متقدمة علينا بملايين السنين. وبوجود حوالى ٢٠٠ بليون نجم ضمن مجرة درب اللبانة، وتريليونات المجرات ضمن الكون المرئي. فهناك احتمال واضح بوجود آلاف الحضارات في الفضاء، تتقدم علينا بشكل لا يمكن تصوره في العلم والتكنولوجيا.

ولتركيز البحث الذي يبدو ميئوسا منه، عن وجود كائنات ذكية في الفضاء الخارجي، فتش فيزيائيو الفلك عن الحياة في الفضاء، بتحليل بصمات الطاقة المميزة في الفضاء، التي يمكن أن تستخدم كدليل. لقد أدخل الفلكي الروسي نيقولاي كارداشيف تصنيفات ملائمة، دعاها النوع الأول والنوع الثاني والنوع الثالث من الحضارات، من أجل تصنيف الحضارات خارج الأرض، بناء على تطورها الطبيعي في استهلاك الطاقة.

وبناء على اعتبارات فيزيائية بحتة، فإن أي حضارة في الفضاء الخارجي، ستعتمد على ثلاثة مصادر للطاقة على التوالي:كوكبها، ونجمها، ومجرتها، والتي ترتبط بحضارات من النوع الأول والثاني والثالث على التوالي. إن الناتج من الطاقة لكل حضارة، هو تقريبا ١٠ بلايين مرة أكبر من الحضارة التي سبقتها، ولكن هذا الفارق الضخم من الطاقة، يمكن تعويضه من قبل أي حضارة تتوسع بشكل متواضع.

وإذا افترضنا للحظة، أن اقتصادنا العالمي ينمو بمعدل ضئيل، يبلغ ١ في المائة في العام، وهو رقم محافظ جدا، وبما أن النمو الاقتصادي يُغذى بزيادة استهلاك الطاقة، فإننا سنجد نموا مماثلا في الطاقة أيضا. وخلال مائة إلى عدة مئات من السنين، فإن عالمنا سيقترب من حضارة كوكبية من النموذج ١ وعند مثل هذا المعدل من النمو، فإن الانتقال من حضارة كوكبية من النوع الأول، إلى حضارة نجمية من النوع الثاني، سيأخذ وقتا أطول، وربما

٢٥٠٠ عام. وسوف يُخفِّض معدل نمو أكثر واقعية، يبلغ ٢ في المائة في العام، هذا الرقم إلى ١٢٠٠ عام. وسوف يقلل معدل نمو سنوي بحدود ٢ في المائة هذه الفترة حتى ٨٠٠ سنة. وفي النهاية، فإن احتياجات حضارة من النوع الثاني من الطاقة سوف تتعدى ناتج نجمها من الطاقة، وسوف تضطر إلى أن تلجأ إلى أنظمة نجمية مجاورة، للبحث عن المصادر والطاقة، مما يحولها في النهاية إلى حضارة مجرّية. أما الانتقال من حضارة من النوع الثاني إلى حضارة من النوع الثالث، فسيستغرق زمنا أطول، لأن على هذه الحضارة أن تتقن السفر بين النجوم. ولكن يمكن للمرء أن يفترض أنه خلال ١٠٠ عام إلى عدة ملايين من السنوات (بحسب تقدمها في تطوير السفر عبر الكواكب) ، فإن حضارة نجمية من النوع الثاني، ستحقق الانتقال إلى حضارة مجرية من النوع الثالث.

أين يضعنا هذا؟ إننا بالنسبة إلى المقياس الكوني، حضارة من النوع صفر. فنحن نحصل على طاقتنا من نباتات ميتة (مثلا الوقود الطبيعي)، ونحن مثل أطفال بدأوا لتوهم في التفكير في حضارات محتملة في الكون العظيم. إن حضارتنا حديثة جدا، حتى أننا كنا منذ مائة عام فقط، نحصل على معظم طاقتنا من حرق الحطب والفحم الحجري، وكان أي نقاش حول مصادر للطاقة من خارج الأرض يعتبر جنونا.

المخاطر التي تواجهها حضارات من النوع صفر

ربما كان أخطر هذه الانتقالات الثلاثة، هو الانتقال من حضارة النوع صفر إلى النوع الأول. كطفل يتعلم المشي، فإن هذه الحضارة تدرك فجأة المخاطر الجديدة، التي تهدد الحياة في محاولتها لاستكشاف عالمها، والتحكم فيه. وكلما ازداد علمها بالكون المحيط بها، ازداد علمها أيضا بمخاطره المحتملة، مثل العصور الجليدية وصدمات النيازك والشهب، وانفجارات النجوم المستعرة، والتهديدات البيئية، مثل تحطم غلافها الجوي وانتشار الأسلحة النووية.

والأبعد من ذلك أن حضارة من النوع صفر تشبه طفلا مدللا، غير قادر على التحكم في انفعالاته وهيجانه المدمر لذاته. ولا يزال تاريخها الحديث

مأهولا بشبح التمييز العنصري المتوحش، والأصولية، والوطنية المتطرفة، والكراهية العنصرية في الألفية السابقة. ولا تزال حضارتنا من النموذج صفر منقسمة على طول خطوط صدع عميقة، نشأت منذ آلاف مضت من السنين في الماضي.

لقد وقع الخطر الرئيسي الذي تواجهه حضارة من النموذج صفر، بعد اكتشافها للعناصر الكيميائية للجدول الدوري، ومن المحتم أن أي حضارة ذكية في المجرة ستكتشف شيئين: العنصر ٩٢ (اليورانيوم)، وصناعة كيميائية. فمع اكتشاف اليورانيوم، يأتي إمكان إبادة النفس بالأسلحة النووية، ومع إنشاء صناعة كيميائية يأتي إمكان تلويث البيئة بالسموم، وتخريب الغلاف الجوي الذي يمنح الحياة.

واستنادا إلى حقيقة عدم رؤية الفيزيائيين الفلكيين أي دليل على الحياة في الأنظمة النجمية المجاورة، على الرغم من أن معادلات دريك تتوقع وجود آلاف الحضارات الذكية في مجرتنا، فمن المحتمل أن تكون مجرتنا مليئة بآثار لحضارات من النموذج صفر، أنهت أحقادها وتحاسدها القديم، بواسطة العنصر ٩٢، أو أنها لُوّثت كوكبها إلى حد خرج عن السيطرة.

وإذا أمكن تجنب هاتين الكارثتين العالميتين، فمن المحتمل عندئذ أن يتقدم علمها، لكشف سر الحياة والذكاء الاصطناعي والذرة، عندما تكتشف ثورة الكمبيوتر والثورة البيوجزيئية وثورة الكم، التي ستمهد الطريق لمجتمعها أن يرقى إلى مستوى حضارة عالمية. وستصل ثورة الكمبيوتر كل أفرادها بشبكة اتصالات عالمية واقتصادية قوية، وستعطيهم الثورة البيوجزيئية المعرفة اللازمة، لمعالجة المرض وتغذية سكانهم المتزايدين، وستزودهم ثورة الكم بالطاقة والمواد اللازمة لبناء مجتمع كوكبي.

النوع الأول: حضارة كوكبية

في الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى حالة النوع الأول، فإنها تكون قد حققت استقرارا سياسيا نادرا، إن حضارة من النوع الأول، هي بالضرورة حضارة كوكبية: إذ لا تستطيع سوى حضارة كوكبية، أن تتخذ حقا القرارات التي تؤثر في التدفق الكوكبي للطاقة والموارد. فحضارة من النوع الأول، على

سبيل المثال، ستشتق معظم طاقتها من مصادر كوكبية، أي من المحيطات والغلاف الجوي ومن أعماق كوكبها، وستقوم بتعديل مناخها استثمار المواد الطبيعية في محيطاتها، مستخدمة مصادر كوكبية لاتزال حلما حتى اليوم.

خذ مسألة تعديل المناخ؛ إن إعصارا يمكنه إطلاق طاقة أكبر من مائة قنبلة هيدروجينية. والتحكم في المناخ اليوم، لا يزال احتمالا بعيدا، ولكن بما أن المناخ في منطقة ما يؤثر بشكل دقيق في المناخ في منطقة أخرى، فإن التحكم في المناخ أو تعديله ممكن فقط، إذا كان هناك تعاون بين عدد من الدول. وبالمثل إذا أطلقت إحدى الدول كميات كبيرة من الغازات الناتجة عن الاحتباس الحراري أو الغازات المستنفدة للأوزون، فإن الكوكب بكامله سيتأثر بذلك. لذا، فمن أجل التحكم في المناخ أو إزالة التهديدات البيئية على مستوى الكوكب، على حضارة من النوع الأول، أن تعمل بالضرورة بدرجة عالية من التعاون بين سكانها، وهذا هو معنى أن تكون الحضارة كوكبية.

إن استهلاك الطاقة لحضارة من النوع الأول، بالمقارنة مع حضارتنا كبير جدا، بحيث سيبدو الكوكب عندما يُرى من الفضاء الخارجي، مثل شجرة متألقة لعيد الميلاد. وبالمقابل، فإن كوكبنا الذي ينتمي إلى النوع صفر يبدو - عندما يصور من الفضاء الخارجي - على شكل خطوط شاحبة وقطع باهتة اللون، تمثل المدن الكبيرة للولايات المتحدة (وبشكل رئيسي بين بوسطن و واشنطن) وأوروبا، واليابان (بشكل رئيسي حول طوكيو).

ولا تزال حضارات النوع الأول، مع ذلك، معرضة لكوارث بيئية وفلكية. وبسبب صعوبات تحويل الكواكب إلى أمكنة شبيهة بالأرض، والمسافات الهائلة التي تفصلها عن النجوم المجاورة، فإن حضارة وصلت إلى مستوى النوع الأول، قد تمضي عدة قرون وهي تعيش في كوكب واحد، مما يشكل مخاطرة لبقائها على الأمد الطويل. وقد ترسل فرقا استكشافية صغيرة إلى الكواكب، وحتى إلى النجوم المجاورة، وتقيم مراكز صغيرة هناك. أما تكفلها بنفقات إقامة مستعمرات كبيرة ودائمة، فسيكون منهكا لمواردها.

ومع مرور الوقت، ستطور حضارة من النوع الأول نظام اتصال كوكبي، وثقافة كوكبية واقتصادا كوكبيا. وستكون هناك اتصالات فورية تربط المجتمع. وتتجه نحو محو الحواجز الوطنية والثقافية القديمة تدريجيا، والتي تقود أحيانا إلى الحرب، وسوف تتلاشى الخلافات والأحقاد، التي تصيب -

عادة ـ حضارة من النوع صفر مع الزمن، بسبب توافر الغنى المادي، ومصادر الطاقة لمجتمع من النوع الأول.

وبافتراض أن قوانين التطور البيولوجي لكوكب من النوع الأول، مشابهة لقوانيننا، فيمكن للمرء أن يستنتج أيضا أن تطورهم سيتوقف. فالتطور ينحو نحو التسارع، عندما تكون هناك جيوب منعزلة من البشر، وظروف بيئية قاسية. وضمن مستعمرة أو قبيلة صغيرة، فإن الاختلافات الجينية الصغيرة تتضخم تدريجيا بسبب التناسل الداخلي، مما يخلق «تحولا» جينيا ضمن النوع ذاته (في العصور القديمة على الأرض مثلا، يتوقع المرء أن يتزوج من القبيلة ذاتها، أو من قبيلة مجاورة، وبعدد سكاني تناسلي يقل عن المائة، أما اليوم فعدد السكان المتناسلين هو عادة بالملايين). وبصورة عامة فكلما توسع عدد المتناسلين، تباطأ معدل التطور.

ولأن حضارة من النوع الأول لن يكون لديها متناسلون معزولون، فسيكون هناك اختلاط تدريجي للناس، مما يؤدي إلى إيقاف تطورهم كنوع.

حضارات من النوع الثاني: منيعة ضد أي كارثة طبيعية

في الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى مرتبة النوع الثاني، فإنها ستصبح خالدة، وستستمر طيلة حياة الكون. فلا شيء معروف في الطبيعة يمكنه أن يدمر فيزيائيا مثل هذه الحضارة. ويستطيع هذا النموذج من الحضارة صد الكوارث البيئية والفلكية بقوة تكنولوجيته، كما يمكنه منع مذنب أو شهاب، ذي خطر محتمل، عن طريق تغيير اتجاه أي شظايا كونية في الفضاء، تهدد بالاصطدام مع الكوكب. وعلى مدى يقدر بآلاف السنين، يمكن تجنب العصور الجليدية بتعديل المناخ، عن طريق التحكم مثلا في التيار النفاث قرب القطبين، أو ربما بإجراء تعديلات طفيفة لدوران الكوكب.

وبما أن محركات الكوكب تنتج مقادير كبيرة من الحرارة، فمن الضروري استخدام إدارة فضلات وإعادة تدوير متقدمتين جدا. ومع ذلك، فمع وجود خبرة لعدة قرون في إدارة الفضلات وإعادة تدويرها، فإن هذه الحضارة لن تواجه كوارث ناجمة عن انهيار بيئتها. وربما كان أكبر خطر تواجهه حضارة من النوع الثاني، هو انفجار نجم مستعر قريب منها، حيث يمكن لانفجاره

المفاجئ و إطلاقه لأشعة إكس المميتة، أن يقلي الكواكب القريبة. ولكن بمراقبة النجوم القريبة منها، فإن حضارة من النوع الثاني لديها عدة قرون لبناء سفن فضائية، قادرة على حمل سكانها إلى مستعمرات في أنظمة شمسية مجاورة إذا اكتشفت أن أحد النجوم القريبة منها يموت.

إن حضارة من النوع الثاني، التي تستهلك - وفقا لتعريفها - ١٠ بلايين مرة من الطاقة، التي تستهلكها حضارة من النوع الأول، ستستنزف مصادر الكوكب، وستكون متطلباتها من الطاقة ضخمة جدا، بحيث تشتق طاقتها مباشرة من شمسها. وهي لا تقوم بذلك عن طريق الحصول على الأشعة الشمسية بشكل سلبي بواسطة اللاقطات الشمسية، ولكن بطريقة إيجابية بإرسال سفن فضائية ضخمة إلى الشمس، لتوجيه طاقتها إلى الكوكب. (إن الاتحاد الفيدرالي للكواكب، الذي صور في مسلسل «ستارترك» هو على وشك الوصول إلى حالة النوع الثاني، فلقد كانت لديهم حكومة كوكبية لعدة قرون، وهم على وشك أن يكونوا في المرحلة التي يستطيعون فيها إشعال نجوم ميتة). ولقد تكهن فريمان دايسون - من برنستون - أن بإمكان حضارة من النوع الثاني، أن تبني كرة ضخمة حول شمسها، بحيث تلتقط كل طاقتها وتعزل نفسها أيضا عن باقي الكون.

وقد يكون العثور على حضارة من النوع الثاني في الفضاء أمرا صعبا، إلى حد ما، لأنها قد تختار إخفاء إصداراتها الراديوية والتلفزيونية، ومع ذلك فهي لا تستطيع خرق القانون الثاني في الثيرموديناميك. وعلى الأخص لا توجد طريقة معروفة لمنع آلاتها من توليد كميات كبيرة من الحرارة المفقودة، التي من المفترض أن تُرى بوضوح من قبل كاشفات الأشعة تحت الحمراء على الأرض. وكما تُرى من الفضاء الخارجي، فإن حضارة من النوع الثاني ستنتج طاقة من الأشعة تحت الحمراء مكافئة لنجم صغير. وبما أنها خالدة، فإن حضارات من النوع الثاني قد تكون شائعة جدا. وقد دافع دايسون عن بناء كاشفات تحت حمراء خاصة على أمل التقاط حضارات مجاورة من النوع الثاني. ستصدر حضارات من النوع الثاني أيضا كميات كبيرة من الإشارات اللاسلكية والتلفزيونية، ومع ذلك، فقد أجرى علماء من مشروع SETI بحوثا مكثفة للإشارات الكهرومغناطيسية، من عدد من النجوم بتردد واحد كل مرة، ولم يعثروا على شيء. ومن المفارقة - مع ذلك - أن مجرتنا قد تعج بحضارات من النوع الثاني، تجنبت اكتشاف مناظرنا

التلسكوبية لها، لأنها تبنت طريقة تشويش رسائلها عبر كامل طول الموجة اللاسلكية، ثم إعادة نشرها عندالطرف المستقبل بدلا من الإرسال على تردد واحد والذي هو غير فعال كثيرا. وإذا كان لنا أن نستمع إلى مثل هذه الرسائل المشوشة، فلن نسمع سوى ضجة لا يمكن تمييزها. ولذا فمن الممكن أن تكون موجات اللاسلكي التي نكتشفها في الفضاء، حافلة بإرسالات من النوع الثاني لم نستطع حتى اليوم تمييزها.

حضارات من النوع الثالث: قهر المجرة

إن الانتقال من حضارة النوع الثاني إلى حضارة من النوع الثالث، سيستغرق وقتا أطول، لأنه يعتمد على التحكم في السفر بين النجوم، وهي مهمة صعبة بشكل غير عادي. ولكن إذا كان لدى مثل هذه الحضارات سفن نجمية، يمكنها أن تسير بسرعة تقترب من سرعة الضوء إلى حد ما، فإن استعمار أجزاء أخرى من المجرة قد يكون ممكنا. وعلى الرغم من أن هوليوود تمجد القادة الأبطال، الذين يقودون فرقا من المستكشفين الشجعان للبحث عن حياة خارج الأرض، وعن كواكب تلائم العيش، فإن هذا قد يكون أقل طرق استكشاف المجرة فاعلية.

إن أبسط طريقة يمكن أن تستخدمها حضارة النوع الثالث، لمسح نظم نجمية واعدة، هي إرسال آلاف من (مسابر فون نيومان) إلى الفضاء، وهي مسابر آلية متحركة صغيرة تهبط على أقمار نجم بعيد، وتبني مصانع لإكثار نوعها. وباستخدام الميثان والخامات والمواد الكيماوية الأخرى المستخلصة من الجو والتربة، يمكن لمصانع الإنسان الآلي أن تبني آلاف النسخ منها، والتي يمكنها بعد ذلك أن تنطلق إلى الفضاء العميق، بحثا عن أنظمة نجمية أخرى. ويمكن لهذه العملية أن تكرر نفسها، بحيث تضرب كل دورة عدد مسابر فون نيومان بعامل يقدر بالآلاف.

وبهذه الطريقة يمكن تحليل ملايين الأنظمة الشمسية في أقصر وقت ممكن. (إن مسابرفون نيومان هي في الحقيقة أساس المسلسلات التي تُرى في أفلام ٢٠٠١ ـ ٢٠١٠). ويتخيل فريمان دايسون مسابر خفيفة الوزن، ناتجة عن الهندسة البيولوجية والذكاء الاصطناعي، وقادرة على «التهام»

الميثان من أقمار بعيدة (سيهبط المسبر على أقمار بدلا من الكواكب، لأنه من الأسهل الإفلات من مجال الجاذبية الأقل لهذه الأقمار، ومن مكان مناسب تستطيع هذه المسابر أن تكتشف فيما إذا كانت هناك أي إشارات على حياة ذكية على الكواكب). وهو يدعو هذه المسابر «بالدجاجات الفلكية»، فهي مخلوقات صغيرة ومنضغطة و مهندسة جينيا، وقادرة على السفر الفضائي، وتستطيع أن تعيش وتدعم بقاءها في بيئة غير ملائمة على الأقمار البعيدة وأن ترسل رسائلها إلى الكوكب الأصلي.

وقد ينتج الدمج النهائي بين الذكاء الاصطناعي والهندسة البيولوجية - في النهاية - مسبرا مثاليا، وسيكون مثل هذا المسبر المتقدم مخلوقا حيا بكل معنى الكلمة، قادرا على إصلاح أعطاله، وإيجاد «الغذاء» في السطوح المتجمدة للأقمار البعيدة، وإنتاج آلاف من «الأطفال» للاستمرار في استكشاف المجرة. وسيقوم بكل وظائف الكائن الحي. وستكون لديه أيضا درجة عالية من الذكاء لتنفيذ مهمته الأساسية (استكشاف أنظمة نجمية أخرى)، واتخاذ قرارات مستقلة متسقة مع مهمته الكلية، دون مساعدة من أحد. وستكون لديه أيضا عواطف لمساعدته على العمل في الفضاء الخارجي، وسيشعر بـ «الألم»، وبالتالي يتجنب الخطر، ويجرب «السعادة» عندما يتزود بالوقود على قمر بعيد، ويحس «بالأمومة» نحو أطفاله الصغار، وسيشعر «بالمتعة» والإحساس بالإنجاز، من جراء تنفيذ مهمته الأساسية.

وإذا أرسلت حضارة من النوع الثالث مثل هذه المسابر بنصف سرعة الضوء، فيمكنها بعد ذلك أن تنتظر ورود إشارات كثيرة، فيما يتعلق بأنظمة نجمية مهمة. وخلال ألف عام، يمكن أن يمسح بواسطة مسابر فون نيومان هذه كل نظام نجمي يقع في حدود ٥٠٠ سنة ضوئية، ويمكنها خلال مائة ألف عام أن تستكشف كل النجوم في نصف مجرتها، ولأن مسابر فون نيومان - هذه - ذات كفاءة عالية، فإن حضارة من النوع الثالث يمكنها أن تقرر بسرعة أي الأنظمة النجمية ملائمة للاستيطان.

لقد تكهن بعض العلماء بوجود حضارة من النوع الثالث ضمن مجرتنا، ولأن مثل هذه الحضارة مؤبدة، فقد تكون قد استكشفت مسبقا أجزاء كبيرة من مجرتنا، وتركت خلفهامسابر فون نيومان كما في ٢٠٠١. وتقول نظرية أخرى بأن حضارة من النوع الثالث تسبقنا في الثقافة بآلاف السنين، قد

تكون ـ ببساطة ـ غير مهتمة بنا. فنحن ـ بعد كل هذا ـ عندما نرى كومة نمل لا ننحني ونقدم للنمل الهدايا والدواء والمعرفة والعلم. بل على العكس من ذلك، فقد يكون لدى البعض منا ميل إلى المشي فوق بعضها.

وربما كا ماتطمح له أكثر مثل هذة الحضارة المتقدمة هو تطويع «طاقة بلانك» Planck، وهي الطاقة اللازمة لتمزيق نسيج المكان والزمان. وبالرغم من أن حجم هذه الطاقة الرائعة فوق قدرات حضارتنا من النوع صفر تماما، فإنها ضمن إمكان حضارة من النوع الأول، أو أعلى من ذلك، والتي هي حسب افتراضنا السابق، تمتلك تقريبا ١٠٠ بليون مرة، وحتى بليون ترليون مرة من إنتاج الطاقة في حضارتنا من النوع صفر. تماما، وبالنسبة لحضارة بهذا الناتج الكوني من الطاقة، فقد يكون من الممكن فتح ثقوب في الفضاء (بافتراض أن هذه الثقوب الدودية لا تخترق قوانين فيزياء الكم). وقد يقدم هذا أكثر الطرق فاعلية للوصول إلى النجوم، ولإقامة حضارة مجرية، وذلك باستخدام نوافذ بعدية dimensional windows، بدلا من سفن نجمية سمجة في استكشاف عوالم مجهولة.

نحو حضارة كوكبية

لا تزال حضارتنا على الأرض حضارة من النوع صفر، ولا نزال متفرقين ـ على نحو يبعث على اليأس ـ إلى أمم متنازعة ومتحاسدة، ومنقسمين بعمق بحسب العرق والدين والأمة. ولايزال استغلال المحيطات أو التحكم في المناخ أمرا مستحيلا، بينما نتمكن بمشقة من إرسال مسابر فضائية ضعيفة نحو كواكب قريبة، ولا نستطيع حتى الاعتناء بحاجاتنا من الغذاء والطاقة. إن العالم في الوقت الحاضر يعاني اتجاهين متعارضين. فالعالم أصبح أكثر انقساما، بسبب سيطرة الحروب الأهلية والعرقية، والمصالح الوطنية الضيقة على أجزاء عديدة من العالم. وفي الوقت ذاته أصبح العالم أكثر توحدا، مع وجود مستويات جديدة من التعاون بين الأمم على الصعيد العالمي، وظهور أشكال المشاركة التجارية مثل الاتحاد الأوروبي.

ولمعرفة أي اتجاه سيسيطر في نهاية الأمر، فكر مستقبلا في العالم بعد مائة عام من الآن. وبتحقيق بعض دول آسيا معدل نمو سنوي رائع بحدود

١٠ في المائة، فليس من غير الواقعي افتراض أن معدل النمو العالمي للقرن الحادي والعشرين، قد يصل إلى أقل بقليل من ٥ في المائة، عندما يصبح العالم الثالث أكثر تصنيعا. وبهذا المعدل، فإن الناتج الإجمالي العالمي واستهلاك العالم من الطاقة سينمو ١٢٠ مرة خلال قرن واحد.

إن الإجازات الاقتصادية والتكنولوجية والعلمية لقرن من الآن، قد تقزّم أي شيء يمكن تصوره حاليا، مضروبة في عامل أكبر من ١٠٠ مرة. وستصبح مناطق كاملة من العالم، أكثرها جيوب للفقر المدقع الآن، صناعية بحلول ذلك الوقت، وبالطبع فإن معظم هذا الثراء لن يتوزع بشكل متساوٍ. ولكن العواطف والأحقاد التي أشعلت النزعات الوطنية والطائفية في الماضي، قد تهدأ تدريجيا عندما يصبح الناس أغنى، ولديهم حصة أكبر في النظام. فمن الصعب على مثيري الفتن إيقاد شعلة الانفصال، والتشرذم عندما يشعر الناس بالرضا والشبع، وكما لاحظ أحد الساخرين مرة: «ليس هناك وطني سمين».

وستكون هناك في نهاية القرن الحادي والعشرين أيضا ضغوط اجتماعية وسياسية واقتصادية هائلة، لتشكيل حضارة كوكبية ناجمة عن اقتصاد عالمي، وبالطبع ستظل هناك نخب حاكمة تحاول بكل غيرة الدفاع عن تأثيرها وسلطتها. ولعدة عقود بعد نهاية القرن الحادي والعشرين ،فقد تحاول هذه النخب مقاومة الميول العالمية لخلق حضارة من النوع الأول على الأرض. ولكن قوتها ستتضاءل مع كل عقد بسبب القوى الاجتماعية والاقتصادية الضخمة، التي أطلقتها هذه الثورات العلمية.

الانهيار الكوكبي

لقد تغلبت إحدى القوى التي تدفعنا نحو حضارة كوكبية (وهي الخوف من انهيار كوكبي ممثل بتفكك محتمل لطبقة الأوزون) على تكاسل الحكومة والتنافس الدولي، ونشّطت الأمم المتحدة. والأوزون طبقة غير سميكة تحمي الحياة، تبعد ١٥ ميلا فوق سطح الأرض، وتمتص الإشعاع فوق البنفسجي الضار. وفي عام ١٩٨٢ سبب اكتشاف ثقب ضخم في طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي وبحجم الولايات المتحدة الأمريكية اهتماما دوليا كبيرا. ولقد أكدت بيانات الأقمار الاصطناعية أن مستويات الأوزون تنخفض بشكل خطير

فوق نصف الكرة الشمالي، بحوالى ١ في المائة كل عام، في بعض المناطق. وإذا لم يُعكس استنفاد الأوزون، فقد تزداد حالات الإصابة بسرطان الجلد بمعدل ٦٠ مليون حالة عام ٢٠٧٥، ناهيك عن احتراق محاصيل الغذاء المهمة، وموت الحيوانات المهمة جدا لسلسلة الغذاء.

وعندما برهن العلماء في النهاية على أن منتجات الكلورو فلوروكربون CFC، التي تستخدم بشكل شائع كوسيط للتبريد، تشكل خطرا واضحا ومباشرا على طبقة الأوزون، تكاتفت ٣١ دولة بسرعة، و وقعت اتفاقية تاريخية في مونتريال عام ١٩٨٧، للبدء في التوقف عن استخدام CFC بحلول عام ٢٠٠٠. لقد كانت بروتوكولات مونتريال حول استنفاد الأوزون وقمة الأرض التاريخية، التي رعتها الأمم المتحدة عام ١٩٩٢ في ريودي جانيرو، بمنزلة البؤرة التي ركزت الاهتمام الدولي على قضايا التنوع الحيوي، والتلوث، وزيادة السكان... وغيرها. وهناك الآن في الوقت الحاضر أكثر من ١٧٠ اتفاقية دولية قيد التنفيذ، تحمي نواحي مختلفة من البيئة.

ومع ذلك، فإن خطر انهيار الغلاف الجوي لا يولد دائما تعاونا كوكبيا. بل على العكس، فبالرغم من أن العلماء متفقون، بشكل عام تقريبا، على أن تأثير غازات الاحتباس الحراري، يمكنه أن يرفع درجة حرارة الأرض إلى مستويات خطيرة في القرن الحادي والعشرين، فإن الدول تباطأت في هذه المسألة. لقد عرض تهديد ارتفاع درجة حرارة الأرض عام ١٩٥٥ على الهيئة الحكومية الاستشارية للأمم المتحدة حول التغير المناخي (IPCC)، التي تمثل سلطة من أنحاء العالم. وقد قدم التقرير قصة معتمة عن الانهيار الكوكبي في القرن الحادي والعشرين. إذا استمرت مستويات ثاني أكسيد الكربون في الارتفاع: فما بين ثلث ونصف الجبال الجليدية في العالم قد تذوب، كما يمكن أن ثلث الأنظمة البيئية، قد يمنى بأضرار كبيرة، ويمكن أن ترتفع مستويات البحار ما بين ١٥ و٩٠ سم، بحلول عام ٢١٠٠، مما يجعل ٩٢ مليون شخص في المناطق الساحلية، مثل بنجلادش عرضة للخطر. ويمكن أن يموت الملايين بسبب انتشار الملاريا والأمراض الاستوائية المميتة الأخرى. كما يمكن للمجاعة أن تنتشر، عندما تتحول مناطق زراعية إلى صحارى وقيعان رملية.

ولأن التسخن العالمي مدفوع باستهلاك الطاقة الطبيعية، وبما أن العديد من الدول تعتمد ـ بشكل كثيف ـ على الفحم الحجري والنفط، فإن مستويات غاز

ثاني أكسيد الكربون (وهي منذ فترة الأعلى منذ ١٥٠ ألف سنة) ستستمر في ازديادها إلى القرن الحادي والعشرين، وفي العقود القادمة عندما يبدأ تسخن الأرض بتخريب مناخ الأرض وبيئتها بشكل واضح، فإن الدول المترددة في العالم قد تصبح خائفة بما يكفي، لجعلها تتخذ إجراء، بما في ذلك فرض «ضريبة الكربون»، أو الاستغناء تدريجيا عن النفط والفحم الحجري. إن خطر الانهيار الكوكبي سيحتم التعاون الدولي، حتى لو تم ذلك بصورة مترددة.

الانفجار السكاني مقابل الموارد المتناقصة

إن إحدى المشكلات العالمية الأكثر إلحاحا على المدى الطويل بيئيا واجتماعيا، هي مشكلة الانفجار السكاني، الذي يسبب نزيفا شديدا لموارد الكوكب. لقد استغرق الوصول إلى عدد سكان العالم مايقارب البليون، والذي حدث عام ١٨٣٠، عدة ملايين من السنين. وقد أضيف بليون آخر بعد قرن واحد فقط. وتضاعف عدد السكان مرة أخرى بحلول عام ١٩٧٥ إلى ٤ بلايين. وفي العشرين عاما التي تلت، ارتفع عدد سكان العالم إلى ٥,٧ بليون. وفي كل عام نضيف ٩ ملايين شخص آخر إلى الكوكب. ويعيش حاليا $\frac{١}{٢٠}$ من كل البشر، الذين مشوا على سطح الأرض على مدى تاريخها.

إن هذا الانفجار السكاني، الذي لم يسبق له مثيل، يفرض ضغطا هائلا على موارد الغذاء والنظام البيئي والتنوع الحيوي، وحسب معهد مراقبة حالة العالم world watch Institute، وصل صيد السمك في العالم عام ١٩٩٧ إلى ١٠٠ مليون طن/العام. وبالمثل فإن الإنتاج العالمي من الحبوب وصل إلى القمة عند ١,٧ بليون طن/العام. وفي هذه الأثناء تعادل مساحة الغابات المزالة كليا مساحة قارة الولايات المتحدة. ويعني هذا توافر أراضٍ أقل لزراعة الأغذية والقضاء على أصناف كاملة من النباتات والحيوانات، ويقدر بعض علماء الأحياء أننا قد نفقد مليون صنف في نهاية القرن، وحوالى ربع كل الأصناف على الأرض، بحدود منتصف القرن الحادي والعشرين.

ويؤكد عالم الأحياء روبرت كيتس، أنه كانت هناك تاريخيا ثلاث موجات من الانفجارات السكانية، ترافقت كلها مع إدخال علم وتكنولوجيا جديدين: لقد بدأ الانفجار السكاني الأول منذ حوالى مليون سنة، عندما اكتشف البشر

استخدام الآلات، مما أطلق زيادة في سكان العالم من بضع مئات الآلاف إلى ٥ ملايين. وأتت الثورة الثانية التي بدأت منذ ١٠ آلاف سنة مضت مع اكتشاف الزراعة، وتدجين الحيوانات والنباتات، وفي هذا الوقت نما السكان مائة ضعف إلى حوالى ٥٠٠ مليون. وبدأ الانفجار السكاني الثالث منذ عدة مئات من السنين مع الثورة الصناعية.

والسؤال هو: هل يستطيع العالم الاستمرار في إطعام سكانه، بيما يستمر عددهم في التزايد بمعدلات سريعة؟

إن هذه الزيادة الهائلة في عدد السكان قد تنتهي في يوم ما، وتقدر الأمم المتحدة أن عدد السكان سيتباطأ تدريجيا، ليصل إلى ٦ بلايين عام ١٩٩٩ وإلى ٧ بلايين عام ٢٠١١ ، و٨ بلايين عام ٢٠٢٥ ، و٩ بلايين عام ٢٠٤١، و١٠ بلايين عام ٢٠٧١، وقد يستقر في النهاية عند حوالى ١٢ بليونا في القرن الحادي والعشرين.

ويعود السبب في ذلك إلى أن كل الدول الصناعية وازنت سكانها. وفي الواقع، فإن اليابان وألمانيا يتعرضان لنمو سكاني سالب. وتتعرض كل دولة مصنعة إلى زيادة سريعة في السكان، عندما يخفض الدواء والشروط الصحية الجيدة من معدل الوفاة، ثم إلى ثبات في نمو السكان عندما تتحول إلى الصناعة. وفي الوقت الحاضر وصلت ٣٠ دولة تمثل ٨٢٠ مليون إنسان إلى نمو سكاني مستقر. ويقول عالم الأحياء كيتس: «إن التقدم هو أفضل طريقة لمنع الحمل»، وهذا يعود إلى أن التطور الاقتصادي، كما يلاحظ (يقلل الحاجة إلى عدد أكبر من الأطفال، أوالرغبة في ذلك، لأن عددا أكبر سيعيش، مما يقلل من الحاجة إلى عمل الأطفال، و يزيد الحاجة إلى أطفال متعلمين». ويخفض التطور أيضا الوقت المتاح لحمل الأطفال وتربيتهم، ويخلق فرصة أكبر للنساء، كي يحصلن على التعليم، وأن يجدن عملا بأجر. وأخيرا فإن هذا التطور يحسن فرص توفير وسائل منع الحمل). (وللمفارقة، فإن المسنين هم القطاع الأسرع نموا في العالم الصناعي، بينما يكون الصغار هم القطاع الأسرع نموا في العالم الثالث).

ومن الواضح أن حضارتنا، التي هي من النوع صفر، تواجه مخاطر بيئية ضخمة حتى القرن الحادي والعشرين، وقد تضطر الدول التي قاومت تاريخيا التعاون مع بعضها إلى مواجهة هذه القضايا العالمية والتعاون معا بشأنها.

تحويل اتجاه التشتت العظيم

لقد كانت الحضارة نعمة على الإنسانية، ونقمة عليها في الوقت ذاته.

لقد عشنا ٩٩ في المائة من تاريخ الوجود البشري على شكل قبائل صغيرة وبدائية ومتجولة، تدعم اقتصاديا حوالى خمسين شخصا أو ما يقارب ذلك، (لقد أظهرت الدراسات أن القبيلة عندما تتوسع إلى ما بعد هذا الرقم تقريبا، فإنها لا تستطيع إطعام كل أعضائها الإضافيين ودعمهم، ولذا فهي تنقسم). إن ما جمع هذه القبائل مع بعضها كان الثقافة: من طقوس وعادات ولغة قدمت الحماية والدعم من الأصدقاء والأقارب. لقد دعمت الحكايا والأساطير البطولية، التي كانت تقص حول مواقد النار القديمة، الروابط ضمن القبيلة. وقد أعطانا هذا، أيضا، التنوع الحالي للبشرية والفسيفساء الغنية لآلاف اللغات والأديان والطقوس الموجودة الآن. ولكن الثقافة كانت لعنة أيضا، لقد قوى عدد من هذه الأساطير عقيدة «نحن» ضد «هم»، التي سببت منافسات عنيفة وحروبا قبلية بين ثقافات الأقوام الرحل هذه.

ومنذ ما يقارب ١٠٠ ألف عام مضت، أي بعد ظهور الجنس البشري الحديث في إفريقيا مباشرة، بدأ التشتت العظيم، عندما بدأت هذه القبائل المتجولة الصغيرة في الانتشار خارج إفريقيا، ربما بسبب تغير الظروف المناخية. وربما لم يغامر إلا عدد لا يزيد على بضعة آلاف نحو الشمال، حيث استقروا في النهاية في الشرق الأوسط وجنوب أوروبا. ومنذ حوالى ٥٠ ألف سنة مضت أرسل انقسام ثانٍ مجموعة منشقة إلى آسيا، وربما في النهاية إلى الأمريكتين. ولكن بسبب الانعزال الجيني الذي سببه هذا التشتت العظيم، بدأت البشرية، وهي تتأقلم مع الظروف البيئية القاسية، في الانفصال إلى الأجناس التي نراها اليوم. لذا فإن هذه القبائل لم تنفصل عن بعضها عن طريق الثقافة وحدها، بل إنها انفصلت عن طريق العرق أيضا.

ومع ذلك، فإن الثورات العلمية الحالية تطلق قوى ستبدأ في القرن الحادي والعشرين ولأول مرة منذ ١٠٠ ألف عام، في الحد من العوامل التي حافظت على هذا التشتت العظيم. فالاتجاهات القديمة والمركزية التي

فرضت هذا التشتت تتلاشى تدريجيا، ونرى هذا الميل نحو حضارة كوكبية على جبهات عديدة: صعود الاقتصاد العالمي، وتقهقر الدول ونمو الطبقة الوسطى في العالم، وتطوير لغة عالمية مشتركة، وبروز ثقافة عالمية.

نهاية حقبة الأمم

تتمثل العقبة الرئيسية أمام حضارة كوكبية في حقيقة واضحة، هي أن السلطة السياسية هي في يد حكومات أو أمم غيورة. ومن الواضح أننا نعيش في حقبة الأمم. والأكثر من ذلك، فإن حكم الأمم سيستمر لمعظم القرن الحادي والعشرين. ومع ذلك فنحن ننسى أحيانا أن الدولة ظاهرة حديثة نسبيا على المسرح التاريخي، وقد جاءت بشكل رئيسي في أعقابه الثورة الصناعية وصعود الرأسمالية. إن الدولة ليست فكرة خالدة.

لقد استقرت السلطة قبل الثورة الصناعية بشكل أساسي بيد الإقطاعيين المحليين. وكانت سلطة الدول ضئيلة تماما، وتعكس غالبا الطموحات السياسية للملكيات وخيال صناع الخرائط، أكثر من سلطة وحدة سياسية عاملة. ويكتب ألفن توفلر قائلا: «حتى أعظم الأباطرة حكموا على رقع صغيرة مؤلفة من مجتمعات صغيرة محكومة محليا. قبل الثورة الصناعية، سافر الكاتب س.ي.فينر من بلدة إلى أخرى ضمن «الدولة» نفسها، ولاحظ أن عليه أن يغير القوانين بالسرعة ذاتها، التي يغير بها أحصنته، واستنتج بأن «الملوك والأمراء يمسكون بالسلطة على أجزاء وبقع». وربما تمكن الملوك والأمراء أن يتحدثوا ببلاغة حول المصائر والثروات الوطنية العظيمة، ولكن القوانين والتقاليد في كل بلدة كان يُتحكَّم فيها محليا. ولم توجد ألمانيا على شكلها الحالي حتى أواخر القرن التاسع عشر، عندما أسس (المستشار الحديدي) أوتوفون بسمارك الدولة الألمانية الحديثة عام ١٨٧١، من حوالى ٣٥٠ إمارة ألمانية متنازعة، ومن بروسيا. وكذلك فإن دول المدن التجارية في إيطاليا التي خلدها مكيافيللي في أطروحته السياسية الصريحة (الأمير)، لم تتخل عن تنازعها القديم إلا عام ١٨٧٠.

وبالمثل، فإن الدول القائمة حاليا في العالم الثالث ظاهرة حديثة. إن أحد أسباب الصراع والغليان في الشرق الأوسط وإفريقيا، يعود إلى أنها شكلت

من قبل الدول العظمى، وعلى الأخص بريطانيا وفرنسا. وفي أغلب الأحوال قسمت الدول العظمى المناطق المختلفة في العالم حسب إستراتيجية (فرقْ تسد)، مما جعل حكمها من لندن أو باريس أسهل. ولسوء الحظ، فإن هذه الحدود السياسية الاصطناعية، التي اختيرت غالبا لزيادة المشاحنة بين المجموعات العرقية، هي الآن مصدر التوتر السياسي الكبير في هذه الأنحاء من العالم.

ولكن، على الرغم من أننا لا نزال في غمرة حقبة الدول، فإنه من الممكن أيضا رؤية كيف ستنتهي هذه الحقبة. فالروابط التجارية أصبحت كونية بطبيعتها، كما أن الحدود الوطنية تزول أمام القوى الاقتصادية بالطريقة ذاتها، التي زالت فيها الإقطاعيات المحلية أمام الدول، مع بداية ظهور الثورة الصناعية. ويكتب كينيشي أوهماي مؤلف «نهاية دولة الأمة»، وهو شريك رئيسي سابق لشركة ماكنزي وشركاه، ومستشار لشركات التمويل الدولية «لقد أصبحت دول الأمم التقليدية وحدات تجارية غير طبيعية، وحتى مستحيلة، في الاقتصاد العالمي». ويتنبأ بأن انحطاط الأمم آت بسبب الضغوط الاقتصادية الهائلة الناجمة عن توسع الاقتصاد العالمي. ويكتب أيضا «إن دول الأمة كائنات سياسية عضوية يتراكم الكولسترول في شرايينها الاقتصادية باستمرار، ومع الوقت ستتصلب هذه الشرايين، وتتخافت حيوية هذه الكائنات».

إن آراءه ليست فريدة، ولكنها تردد من قبل عدد من الكتاب السياسيين الآخرين، ويقول المنظر السياسي الفرنسي دينيس دو رويجيمانت: «من الواضح أن الدولة الأمة، التي تعتبر نفسها حاكما مطلقا، صغيرة جدا كي تلعب أي دور حقيقي على المستوى العالمي. ولا تستطيع أي دولة من الدول الأوروبية الـ ٢٨ وحدها أن تضمن ازدهارها ودفاعها العسكري، ومواردها التكنولوجية...». ويضيف توفلر إلى ذلك: «إننا نتقدم نحو نظام عالمي مؤلف من وحدات مترابطة بشكل وثيق، مثل الأعصاب في الدماغ، بدلا من أن ننظم مثل أقسام في جهاز بيروقراطي». ويرى آخرون، مثل الخبير الاقتصادي في هارفارد والسياسي جون كينيث جالبرت، الصعود المحتمل لشكل من أشكال الحكومة العالمية، لتحل محل الأمم المتحدة المنهكة اليوم. وكما قال جون لينون في أغنيته «تخيل» ربما ليس من الصعب تخيل عالم

من دون دول، ولكن ـ بالإضافة الى بروز الاقتصاد العالمي وضعف الدول ـ هناك قوة أخرى تدفع نحو الاستقرار والحضارة الكوكبية بالقوة ذاتها، وهي صعود الطبقة الوسطى العالمية.

صعود الطبقة الوسطى

خلال معظم التاريخ المدون حكمت نخب سياسية ضيقة جدا، وبوحشية غالبا، كتلا ضخمة من الناس الفقراء. ولم يمتلك أحد سوى تلك النخب التعليم والمعرفة والثروة والقوة العسكرية اللازمة لكي يتمسك بالسلطة. وفي الحقيقة، فإن النخب السياسية الحاكمة تعمل بشكل أساسي من أجل استمرار سلطتها السياسية الخاصة، ولا تلبي الحضارة الكوكبية هذا المعيار. وعلى الرغم من أن النخب والحكام الحاليين سيقاومون هذا الاتجاه العالمي، نحو التوحيد، بكل قواهم الهائلة. إلا أن هناك محركا آخر يدفع العالم في اتجاه التوحيد ويمثل سلطة حديثة نسبيا، ولكنها ربما كانت ذات قوة مؤثرة وهي الطبقة الوسطى العالمية. فمع صعود طبقة وسطى عالمية تنحل سلطة النخب الحاكمة.

إن معظم الجنس البشري يعيش في العالم الثالث، الذي يمر أخيرا بعملية تصنيع ضخمة، متأخرا ٣٠٠ عام عن أوروبا. وكما أسقط تصنيع أوروبا ملكيات وإمبراطوريات النظام القديم، فإن تصنيع العالم الثالث، الذي يخلق طبقة وسطى جديدة، سيكون المحرك للتغيير الاجتماعي. إن الطبقة الوسطى والتي هي طبقة أنانية كسائر الطبقات، ذات مصلحة في الحفاظ على التجانس، وفي تطوير التجارة العالمية والتدفق الحر للمعلومات. وأكثر من ذلك، فإن الطبقة الوسطى العالمية المزودة بآلات الفاكس والإنترنت وأطباق الأقمار الاصطناعية وأجهزة الهاتف المحمولة، قادرة على القيام بحملات سياسية قوية أيضا. فعندما يتذوق الناس بعض الرخاء، فإنهم ينشدون المزيد منه.

ويرى أوماي Ohmae أن للطبقة الوسطى المتنامية في العالم آمالا ورغبات متزايدة. ويشعر أنه عندما يحقق الناس دخلا يعادل تقريبا خمسة آلاف دولار للفرد في العام أو ٢٠ ألف دولار لعائلة من أربعة أشخاص، فإنهم

يمرون بتغير نفسي عميق ومعقد. فعندما لا يضطر الناس ـ مرة أخرى – إلى التساؤل عن مصدر وجبتهم التالية، وعن الأمراض التي قد تصيب عضو العائلة القريب، يبدأون في طلب البضائع الاستهلاكية التي تدخلهم بدورها إلى عالم الأجهزة المترفة، المتدفقة من الدول الصناعية. وأكثر من ذلك، فإن مستوى معينا من الرخاء والاستقرار «سوف يجعل الناس ـ حتما ـ يبدأون في النظر حولهم والتساؤل: لماذا لا يستطيعون أن يمتلكوا ما يمتلكه الآخرون. وبالأهمية ذاتها فإنهم سيبدأون في التساؤل لماذا لم يكونوا قادرين على امتلاكها في الماضي؟».

لغة واحدة وثقافة واحدة للعالم بحكم الأمر الواقع

هناك في الوقت الحاضر حوالى ٦ آلاف لغة يتكلمها البشر على سطح الأرض، وهي تعكس الانقسامات التاريخية العميقة، التي خلقها التشتت العظيم. ومع ذلك فخلال القرن الحادي والعشرين يمكن أن يختفي ٩٠ في المائة أو أكثر من تلك اللغات. في رأي مايكل كراوس مدير مركز اللغة المحلية بجامعة آلاسكا، الذي يعتقد أن ٢٥٠ إلى ٦٠٠ لغة فقط سوف تعيش، ومن بين هذه اللغات برزت اللغة الإنجليزية مسبقا، كلغة مشتركة للتجارة والعلم. وليست اللغة الإنجليزية لغة معظم الاجتماعات، والمؤتمرات والتبادلات العلمية والتجارية فقط، ولكنها أيضا لغة الإنترنت، التي توحّد ـ على الأقل ـ حوالى ٣٠ مليون مستخدم للكمبيوتر. ويتعين منذ فترة على أي شخص طموح، يرغب بالمشاركة في الاقتصاد العالمي أو في العلوم، أن يتكلم الإنجليزية، التي تخدم كقاسم مشترك لكل النشاطات الإنسانية العالمية. ويقول الكاتب الصحافي وليام سافاير: إن اللغة الإنجليزية ستكون اللغة الأولى كلغة ثانية في عام ٢١٠٠»، ويقدر أن هناك حوالى بليون شخص يتكلمون الإنجليزية في العالم اليوم، وسوف يزداد هذا الرقم بسرعة في القرن الحادي والعشرين.

ومن المفارقة أن ثورة الكمبيوتر سوف تساعد على حفظ اللغات القديمة، الناجمة عن التشتت العظيم، وسوف تدمرها في الوقت ذاته. فمن ناحية يتسارع صعود الإنجليزية كلغة عالمية مهيمنة، بسبب الاتصالات الدولية والسفر العالمي والتجارة والعلم. ولكن ثورة الكمبيوتر سوف تساعد أيضا على

المحافظة على عدد من اللغات الصغرى المهددة، التي لا يتكلم بعضها إلا عدد محدود من كبار السن، وسيبقى الكثير من هذه اللغات على شكل شريط وقواميس مخزنة في الكمبيوتر. إن هذه اللغة المشتركة تسهل أيضا ظهور ثقافة كوكبية واحدة. إن أحد أوائل الأشخاص في القرن العشرين، الذين رأوا بذور الثقافة الكوكبية وهي تنمو بسبب ثورة الاتصالات، كان الكاتب ألدوس هكسلي الذي كتب في روايته «تلك الأوراق المجدبة» إن الطباعة الرخيصة والهواتف اللاسلكية والقطارات والسيارات وأجهزة الحاكي وكل الأشياء الأخرى، تجعل من الممكن تقوية القبائل.لا تلك القبائل المؤلفة من بضعة آلاف، وإنما تلك المكونة من بضعة ملايين».

إن هذا الاتجاه يتسارع بسبب الإنترنت، ويدّعي بيل جيتس: «إن طريق المعلومات السريع سيحطم الحدود، وقد يشجع ثقافة عالمية أو على الأقل المشاركة في قيم ونشاطات ثقافية. إنني أعتقد أن الناس يريدون الانتماء إلى مجتمعات عدة، بما في ذلك المجتمع العالمي». وتُوحِّد الأخبار والاتصالات بواسطة شبكة الـ CNN، وتلفزيون سكاي، وعدد من القنوات الجديدة الأخرى، التي تبث إلى أكثر الأنحاء عزلة على الأرض. وحتى الدول الثيوقراطية المتشددة مثل تلك الموجودة في إيران. لا يمكنها أن توقف تماما انتشار أطباق الأقمار الاصطناعية، التي تتكاثر مثل الحشائش في العالم الثالث، وتجلب أفكارا جديدة ومشاهد هدامة عن الرخاء في بلاد أخرى. وقد لا يكون هذا الاتجاه نحو حضارة كوكبية مشتركة مبهجا من الناحية الجمالية للجميع. وعلى سبيل المثال، فإن من بين صادرات الولايات المتحدة الضخمة هناك، الأفلام وموسيقى الروك أند رول، فالأفلام التي يقوم بتمثيلها أرنولد شوارزينجر محبوبة جدا، لأنها تعتمد الحركة، ومن السهل فهمها من قبل ثقافات مختلفة، وقد وجدت موسيقى الروك أند رول جمهورا دوليا متأهبا لها بين المراهقين، الذين يزدادون ثراء وتمردا حول العالم. وعلى الرغم من أن كل شخص قد لا يجد ثقافة عالمية وفق هواه، فإنه قد يكون للثقافة العالمية تأثير جيد، وهو تحطيم الحواجز الثقافية، بينما نتحرك نحو حضارة من النوع الأول.

١٥ سادة الزمان والمكان

المادة والحياة والعقل

كما رأينا فإن هذه الأعمدة الثلاثة للعلم الحديث لم تعد مغلفة بالغموض، لأن القوانين الأساسية لنظريات الكم والـ «د.ن.أ» والكمبيوتر اكتُشفت في القرن العشرين. وفي القرن الحادي والعشرين سنتعلم ـ مع ذلك ـ كيف نتحكم في هذه الأشياء الثلاثة حسب رغبتنا تقريبا، بحيث نتحول من مراقبين لرقص الطبيعة، لنصبح مخططين فاعلين لها. وسوف نشهد أيضا التلاقح المكثف بين هذه الثورات الثلاث، والذي سيميز العلم في القرن الحادي والعشرين.

ولكن وصفنا لمستقبل العلم لايزال غير كامل من دون عنصر رابع يشكل فهمنا للكون، وهو المكان ـ زمان (الزمكان). لقد حدث أخيرا نشاط مكثف من قبل الفيزيائيين لشرح سر المكان والزمان. وفي النهاية، فإن ما سوف نتعلمه قد يجيب عن بعض أعمق أسئلتنا حول نسيج الزمان والمكان، مثل إذا كان من الممكن تمزيق المكان أو عكس الزمان، وكيف ولد

«الشيء الأكثر تعذرا على الفهم هو لماذا نستطيع أن نفهم أي شيء أصلا».
ألبرت أينشتين

الكون، وكيف سيموت في النهاية. وقد تتيح دراسة الزمان والمكان لنا في النهاية الإجابة عن أحد أكثر الأسئلة إشكالية حول المستقبل: المصير النهائي لكل الحياة العاقلة في الكون.

البعد الرابع: الزمكان

في فيلم ستارترك «الاتصال الأول»، وفي ثلاثية إسحاق عظيموف «الأساس»، فإن اكتشاف محرك الدفع بالانحراف(*) يشير إلى حد فاصل في تاريخ المجرات و«نضج» البشرية، حيث تنتقل من العزلة الكوكبية والجهل إلى المشاركة في الأخوة المجراتية للكواكب. وفي مثل هذه الرؤية الواسعة، فإننا حقا أطفال النجوم بالمولد والمصير جاهزون لأخذ مكاننا الصحيح بين الحضارات، التي تعيش في أنظمة نجمية بعيدة.

هل محرك الدفع بالانحراف ممكن؟ وهل يتلاءم مع قوانين الفيزياء؟ أو هل أنه مجرد جزء من تصور كتاب الخيال العلمي؟ من الممتع أن الإجابة عن هذه الأسئلة تأخذنا إلى الحدود القصوى للمعرفة الفيزيائية. وبينما قد لا يكون إنجاز محرك الدفع بالانحراف ممكنا في القرن الحادي والعشرين، إلا أنه ليس مستبعدا في إطار فهمنا للفيزياء وخاصة بالنسبة لحضارات من النوعين الأول والثاني. لقد رأينا في الفصول السابقة كيف يمكننا وضع تنبؤات معقولة حول مستقبل العلم، لأن القوانين الأساسية في نظريات الكم، وفي مجال الكمبيوتر، والـ«د ن أ» قد اكتُشفت إلى حد كبير. ومع ذلك فمن أجل بناء آلة الزمن أو تطوير محرك الدفع بالانحراف، علينا أن ندفع بمعرفتنا بالفيزياء إلى الحد الأقصى. وفي النهاية فإننا نحتاج إلى «نظرية لكل شيء» لشرح فيما إذا كان بإمكاننا أن نطوي الزمن أو إحداث ثقب في الفضاء. إن فيزياء محركات الدفع بالانحراف ستأخذنا في رحلة غريبة ولكنها مثيرة خلال الفضاء المنحنى والأكوان المتوازية والبعد العاشر.

(*) محرك الدفع بالانحراف Warp drive engine: فكرة وردت في قصص الخيال العلمي، إلا أنها غير مستبعدة التحقق بمقتضى قوانين فيزياء الكم. تقوم فكرته على إمكان إحداث انحراف أو تشويه في المتصل المكاني Continuum distortion، مما يؤدي إلى دفع الجسم أو المركبة بسرعة الضوء أو أكثر (المراجع).

وقد يتسق تطوير مثل هذا المحرك مع قوانين الفيزياء، إذا استطاع أحدنا أن يفتح «ثقبا دوديا» أو ثقبا في الفضاء. ولتخيل ثقب دودي، خذ صفحة من الورق وأشر إلى نقطتين A وB. ويقال لنا عادة إن أقصر مسافة بين نقطتين عبارة عن خط مستقيم، ولكن هذا صحيح فقط في بعدين (أي على صفحة منبسطة من الورق)، فإذا طوينا صفحة الورق بحيث تتلاقى A مع B، وأحدثنا ثقبا يصل بين A وB، فإن المسافة الأقصر بين A وB هي في الحقيقة ثقب دودي.

وبالمثل، يمكننا أن نأخذ صفحتين متوازيتين من الورق، ونضع واحدة فوق الأخرى. ونستطيع أن نؤشر النقطة A على إحدى الصفيحتين، و B على الصفيحة الأخرى، ثم نستطيع أن نصل النقاط A وB بثقب محفور خلال الصفيحتين، وبالتالي نصل الصفيحتين المتوازيتين بواسطة ثقب دودي. وقد تقع نملة تزحف على صفيحة من الصفيحتين الورقيتين مصادفة خلال الثقب الدودي لتنتهي على صفيحة جديدة تماما، وفجأة تجد النملة المشوشة أن كونا جديدا ـ بالكامل ـ قد فُتح لها، لأنها دخلت من خلال هذا الثقب.

ويدعو الرياضيون هذه التشكيلات الغريبة، والتي تؤدي إلى نشوء أنواع مختلفة من المفارقات المثيرة التي تخترق مفاهيم حسنا المشترك عن المكان «الأماكن متعددة الاتصال Multiply Connected Spaces». وبالرغم من أن فئة الأماكن متعددة الاتصال تبدو غريبة إلا أنها منطقية تماما إذا كان كوننا متصلا بواسطة ثقوب دودية.

لقد قُدِّمت الثقوب الدودية للجمهور العام ـ لأول مرة ـ منذ حوالى قرن مضى في كتاب ألفه رياضي من جامعة أكسفورد، وربما أدرك أن البالغين قد يسخرون من فكرة فئة الأماكن متعددة الاتصال؛ ولذا فقد ألف الكتاب تحت اسم مستعار وكتبه للأطفال. لقد كان اسمه تشارلز دودجسون أما اسمه المستعار فكان لويس كارول، واسم الكتاب «من خلال المرآة». إن المرآة هي في الحقيقة ثقب دودي؛ فمن خلالها ترى الريف الرعوي لأكسفورد في إنجلترا، وعلى الجانب الآخر هناك أرض العجائب. وبدخول المرآة يترك المرء أحد الأكوان ويدخل كونا آخر عبر ثقب دودي، ومثل توأمين سياميين موصولين عند مؤخرتهما تتصل أكسفورد مع أرض العجائب بواسطة المرآة. وباستخدام مثل هذا الثقب نستطيع ـ نظريا ـ أن نقفز عبر سنوات ضوئية من المكان، وأن

نمضي «بأسرع من سرعة الضوء»، من دون انتهاك قانون النسبية. لاحظ أن سرعتنا صغيرة جدا، عندما ندخل عبر المرآة، ولا يتجاوز جسمنا عند أي لحظة سرعة الضوء. ولكن محصلة التأثير هي السفر بأسرع بكثير من سرعة الضوء، إذا قسنا المسافة المطلقة التي سافرناها. ولسوء الحظ كان لويس كارول رياضيا ولم يكن فيزيائيا، ولذا لم يعرف إذا كان مخلوقه ممكنا. ولكن كل هذا تغير عندما سجل أينشتين نظريته العامة في النسبية عام ١٩١٥؛ فهذه النظرية تتضمن إمكان بناء ثقوب دودية وحتى آلات الزمن. فالنظرية النسبية مبنية على فكرة أن المكان منحنٍ وأن (القوى)، التي نراها حولنا مثل الجاذبية، هي في الحقيقة وهم ناجم عن انحناء المكان والزمان.

وعلى سبيل المثال، إذا وضعنا صخرة ثقيلة على سرير، فإن الصخرة سوف تغوص في الفراش، وإذا أطلقنا بلية على طول سطح السرير، فإنها سوف تتبع مسارا منحنيا حول الصخرة. ويبدو من بعيد كما لو أن الصخرة أثرت بـ «قوة» غامضة في الكرة الزجاجية الصغيرة، محركة إياها في مدار حولها. وبالمثل اعتقد نيوتن أن «قوة» غامضة دعيت الجاذبية توثر في الأرض (لقد فهم نيوتن نفسه المشكلة بهذه الصورة، لأنه لاشيء يلمس الأرض، ومع ذلك فإنها تتحرك. وفي كتاباته كان نيوتن قلقا بعمق بحقيقة أن الأرض يمكن أن تتحرك دون أن يمسها شيء واعتبر هذا عيبا كبيرا في نظريته).

إن ما يحصل حقيقة، هو أن الكرة الزجاجية الصغيرة تدفع من قبل غطاء السرير. وبالمثل، فإن ما يدفع الأرض في مدارها حول الشمس هو الفضاء نفسه. ولذا فقد اعتقد أينشتين أن الجاذبية تتحدد بهندسة الزمان والمكان، أي أن الجاذبية وهم نتج عن انحناء نسيج الزمان والمكان. وبعبارة أخرى، فإن سبب تمكننا من الحفاظ على أقدامنا مثبتة على الأرض، بدلا من أن نرمى نحو الفضاء الخارجي، هو أن الأرض تلف الحيز الزمكاني ذا الأبعاد الأربعة حول أجسامنا (وبشكل أكثر دقة، فإن النسبية العامة مبنية على مبدأ التساوي، أي أن قوانين الفيزياء هي نفسها سواء في إطار الجاذبية أو في إطار التسارع. وبما أن الضوء ينحني في إطار متسارع، فإنه يجب أن ينحني أيضا ضمن إطار الجاذبية. ولكن بما أن الضوء يمسح هندسة المكان، عندما يتحرك حسب قوانين البصريات، فإن هندسة المكان يجب أن تكون منحنية أيضا بسبب الجاذبية، لذا يمكن النظر إلى الجاذبية كناتج عن انحناء المكان).

ثقوب سوداء وثقوب دودية

ولكن ربما وجد أكثر تشوهات المكان والزمان إثارة في الثقب الأسود. وبتعريف فإن الثقب الأسود عبارة عن جسم ثقيل جدا، بحيث لا يستطيع الضوء نفسه أن يهرب من سحب جاذبيته الضخمة، وبما أن سرعة الضوء هي السرعة القصوى فإن هذا يعني أن لاشيء يستطيع الهرب من ثقب أسود، إذا ما وقع فيه، بما في ذلك الضوء. ولقد شوهدت حوالى دزينة من الثقوب السوداء في الفضاء الخارجي، اكتُشفت إما بواسطة منظار هابل الفضائي أو بواسطة مناظير لاسلكية موجودة على الأرض. وتوجد هذه الثقوب السوداء في مراكز مجرات ضخمة، تبعد حوالى خمسين مليون سنة ضوئية عن الأرض، بما في ذلك مجرات M -87 و ٤٢٥٨ ـ NGC.

وبما أن الثقوب السوداء غير مرئية بالتعريف، فإن فيزيائيي الفلك يميزونها في الفضاء باستخدام طرق غير مباشرة. تظهر الآلات عاصفة كونية ضخمة، وهي سحابة عظيمة محتدمة من الغازات الساخنة، تدور حول نواة صغيرة. وقد سجلت آلات من المنظار الفضائي رياحا تدور قرب ثقب أسود تسير بسرعة مليون ميل في الساعة. وفي المركز نفسه تقع نقطة صغيرة جدا من الضوء بعرض سنة ضوئية تقريبا، وتزن ربما مقدار مليون نجم. وضمن هذا المركز يقع الثقب الأسود الدوّار غير المرئي. وباستخدام قوانين نيوتن في الحركة يمكن للمرء أن يحسب الكتلة التقريبية للجسم الدوار، وبالتالي سرعة هروبه. ونجد أن سرعة الهروب تعادل سرعة الضوء: ولذا فحتى الضوء لا يستطيع أن يهرب من مجال جاذبيتها.

وربما تأتي أكثر صور الثقوب السوداء وضوحا من نظرية أينشتين في المكان المنحني. ففي تحليلنا السابق، مع ازدياد ثقل الصخرة، فإنها تغوص أكثر فأكثر في غطاء السرير، بحيث يصبح النسيج مشابها لعنق قمع طويل. وإذا أصبح العنق طويلا بما يكفي، كما في ثقب أسود، فإنه في النهاية سيلامس قمعا آخر صادرا عن كون موازٍ على الطرف الآخر من الثقب الأسود. وقد يفتح هذا ثقبا أبيض في الكون الآخر ويبدو الشكل النهائي مثل صفيحتين متوازيتين، متصلتين في الوسط بواسطة نفق أسطواني. ويدعى هذا الجسر، الذي يربط كونين متوازنين، بجسر أينشتين ـ روزن، ولم يكن

أينشتين نفسه قلقا من هذا الجسر، لأن أي شخص غبي بما يكفي للوقوع في ثقب أسود، سيتحطم في المركز، حيث يكون الانحناء والجاذبية لانهائيين؛ ولذا فعندما مات أينشتين كان يؤمن بأن الاتصال بين الكونين أمر مستحيل.

ولكن الرياضي روي كير توصل عام ١٩٦٣ إلى أول وصف واقعي لثقب أسود دوّار؛ فبدلا من الانهيار إلى نقطة، كما في حالة ثقب أسود ساكن، فإنه ينهار إلى حلقة من النترونات التي تدور بسرعة. إن حقيقة أن الثقب الأسود يدور حول ذاته حاسمة، فالقوة الطاردة المركزية تحفظ الحلقة من الانهيار نحو نقطة. لقد أثبت كير أن أي شخص يقع ضمن الحلقة لن يموت، كما اعتقد بشكل عام، ولكنه سيقع من خلال الحلقة إلى كون آخر موازٍ. فلمس الحلقة الدوارة انتحار، أما الوقوع خلالها فليس كذلك. وبعبارة أخرى، فإن ثقب الدودة عبارة عن حلقة دوارة من النتروتات يكافئ المرآة. إن وضع يدك عبر المرآة مماثل لوضع يدك خلال ثقب كير الأسود الدوّار، والذي هو الآن بمنزلة ثقب الدودة، الذي يصل كونك مع كون آخر موازٍ. ومنذ ذلك الوقت اكتشف علماء الفيزياء مئات من تشكيلات الثقوب الدودية، وفي الواقع أضحى إدخال ثقب دودي في كون ملائم فيزيائيا، أمرا بسيطا إلى حد ما.

السفر عبر الزمن

لم يدرك أينشتين التصرف الغريب لجسر أينشتين - روزن فقط، وإنما أدرك أيضا إن معادلاته تتيح إمكان السفر عبر الزمن. وبما أن المكان والزمان متعلقان ببعضهما بشكل وثيق، فإن أي ثقب دودي يصل منطقتين بعيدتين مكانيا يمكنه أيضا أن يصل حقبتين زمنيتين. ولفهم السفر ضمن الزمن، اعتبر أولا أن نيوتن فكر في الزمن كسهم، ما إن يطلق فإنه يسافر في خط مستقيم، بحيث لا ينحرف عن مساره أبدا؛ فالزمن لا يتوه مطلقا في تقدمه المنتظم خلال السماوات. والثانية الواحدة على الأرض تعادل ثانية واحدة على القمر أو المريخ، أما أينشتين فقد استحدث فكرة أن الزمن يشبه النهر، فهو يتجول خلال الكون ليسرع أو يبطئ عندما يصادف حقل الجاذبية لكوكب أو نجم عابر. والثانية الواحدة على الأرض تختلف عن ثانية على القمر أو المريخ. (في الواقع فإن ساعة على القمر تدق أسرع بقليل من ساعة على

الأرض). والأمر الجديد في كل هذا، والذي ولد اهتماما مكثفا، هو أنه من الممكن أن تحدث دوارات في نهر الزمن تنغلق على نفسها، أو أن يتشعب هذا النهر إلى نهرين. وعلى سبيل المثال أظهر الرياضي كيرت جودل زميل أينشتين في معهد الدراسات المتقدمة في برنستون عام ١٩٤٩، أنه لو كان الكون مملوءا بسائل أو غاز دوار، فإن أي شخص يمشي على هذا الكون يمكنه في النهاية أن يعود إلى موقعه الأصلي، ولكن بعد أن يعود إلى الوراء في الزمن. إن السفر عبر الزمن - في كون جودل - سيكون حقيقة من حقائق الحياة.

لقد كان أينشتين قلقا جدا من جسر أينشتين - روزن، ومن آلة الزمن لجودل، لأن هذا قد يعني وجود عيب في نظريته حول الجاذبية. وقد استنتج أخيرا أنه يمكن إلغاء هذين الاثنين على أسس فيزيائية، أي أن أي شخص يقع على جسر أينشتين - روزن سيقتل، وأن الكون لا يدور بل يتمدد كما في نظرية الانفجار الأعظم. ومن وجهة نظر رياضية، فإن الثقوب الدودية وآلات الزمن متسقة تماما ولكنهما مستحيلتان فيزيائيا.

ومع ذلك اكتُشف بعد موت أينشتين عدد كبير من الحلول لمعادلاته، تسمح بوجود آلات الزمن والثقوب الدودية، بحيث إن الفيزيائيين الآن يأخذونهما على محمل الجد. وبالإضافة إلى الكون الدوار لجودل وإلى ثقب كير الأسود الدوار، فهناك تشكيلات أخرى تسمح بالسفر عبر الزمن، تتضمن أسطوانة دوارة لانهائية، وأوتارا كونية متصادمة وطاقة سالبة.

وتثير آلات الزمن بالطبع أنواعا مختلفة من المواضيع الدقيقة والمتعلقة بالسبب والنتيجة، أي تناقضات الزمان. وعلى سبيل المثال إذا عاد صياد في الزمن لاصطياد الديناصورات، ثم دعس مصادفة على حيوان قارض، ربما كان الجد المباشر لكل البشر، فهل سيختفي الصياد؟ وإذا عدت في الزمن إلى الوراء وأطلقت النار على أبويك قبل أن تولد فإن وجودك مستحيل.

ويحدث التناقض الآخر عندما تحقق ماضيك: ولنفترض أنك مخترع شاب يجاهد لبناء آلة الزمن، وفجأة يظهر أمامك رجل مسن ويعرض عليك سر السفر عبر الزمن، ويعطيك مخطط آلة الزمن بشرط واحد: عندما تصبح عجوزا، ستعود عبر الزمن وتعطي نفسك سر السفر عبر الزمن، وعندها فإن السؤال هو: من أين أتى سر السفر عبر الزمن؟ وقد يكون الجواب عن كل هذه التناقضات في النهاية في نظرية الكم.

مشاكل تثيرها الثقوب الدودية وآلات الزمن

على الرغم من أن نظرية أينشتين تسمح بوجود ثقوب دودية وآلات للزمن، إلا أن هذا لا يعني أنه يمكن بناؤهما. فمن الواجب اجتياز عدد من الصعوبات الأساسية لبناء مثل هذه الأجهزة: أولا، إن مقدار الطاقة التي يمكن أن تحدث عندها هذه الحالة الشاذة للزمان مكان، هي أكبر من أي شيء يمكن الحصول عليه على الأرض. إن مقدار الطاقة هو بحدود طاقة بلانك أو حوالي ١٠^١٩ بليون إلكترون فولت، وهي أكبر بنحو «كُوادريليون» مرة quadrillion times من طاقة مشروع معجل الجزيئات فائقة التوصيل، الذي ألغي الآن. وبعبارة أخرى يمكن بناء آلات الزمن والثقوب الدودية من قبل حضارة متقدمة من النوع الأول I، أو ربما أكثر احتمالا من النوع الثانيII، واللتين تستطيعان التحكم في طاقة أكبر ببلايين المرات مما نستطيع توليده اليوم (وبالتفكير في هذا الموضوع، أستطيع أن أتصور كيف شعر نيوتن منذ ثلاثة قرون مضت، فقد كان بإمكانه حساب السرعة التي عليك أن تقفز بها لتصل إلى القمر، وتقدر هذه السرعة بـ ٢٥ ألف ميل في الساعة. ولكن ما نوع المركبات التي كانت متوافرة لنيوتن عام ١٦٠٠؟ مجرد الأحصنة والعربات! بدت لابد وأن له مثل هذه السرعة فوق التصور. والموقف شبيه بهذا اليوم، فنحن الفيزيائيين نستطيع أن نحسب أن كل هذه التشوهات للزمان والمكان يمكن أن تحدث إذا حصلت على طاقة بلانك، ولكن ماذا لدينا اليوم؟ «أحصنة وعربات» تدعى قنابل هيدروجينية وصواريخ أضعف من أن تصل إلى طاقة بلانك).

والاحتمال الآخر هو استخدام «مادة سالبة» «والتي تختلف عن مضاد المادة». إن هذا الشكل الغريب من المادة لم يُرَ أبدا. وإذا كان بالإمكان تركيز كمية كافية من المادة السالبة في مكان واحد، فقد يستطيع المرء أن يفتح ثقبا في المكان. ولقد اعتقد تقليديا أن الطاقة السالبة والمادة السالبة ممكنتان فيزيائيا. ولكن نظرية الكم أظهرت أخيرا أن الطاقة السالبة ممكنة في الواقع!. تفرض نظرية الكم أننا لو أخذنا صفيحتين معدنيتين غير مشحونتين ومفصولتين فراغيا، فإن الفراغ بينهما ليس فارغا، ولكنه في الحقيقة يغص بإبادات افتراضية للإلكترون ومضاد الإلكترون. إن التأثير الناتج عن كل هذا النشاط الكمومي في الفراغ هو

خلق «تأثير كاسيمير» Casimir effect، أي محصلة جذب بين هاتين الصفيحتين غير المشحونتين. وقد قيس مثل هذا التجاذب تجريبيا. وإذا استطاع المرء أن يضخم بطريقة ما تأثير كاسيمير، فيمكنه بشكل معقول أن يخلق آلة زمن بدائية. بحسب أحد الاقتراحات يمكن لثقب دودي أن يصل مجموعتين من صفائح كاسيمير. وإذا سقط أحد بين مجموعة واحدة من صفائح كاسيمير فسينقل فورا إلى المجموعة الأخرى. وإذا أزيحت الصفائح في المكان، فيمكن استخدام النظام على شكل نظام دفع بالانحراف. وإذا أزيحت الصفيحتان في الزمان، فإن النظام سيعمل على شكل آلة زمن.

وربما كانت العقبة الأخيرة التي تواجهها هذه النظريات هي الأهم، وهي أنها قد لا تكون مستقرة فيزيائيا. يعتقد بعض الفيزيائيين أن قوى الكوانتم التي تؤثر في الثقب الدودي قد تؤدي إلى إزالة استقراريته، بحيث تنغلق الفتحة، أو بحيث يكون الإشعاع القادم منه ـ عندما ندخله ـ كبيرا جدا، بحيث إنه إما أن يقتلنا وإما أن يغلق هذا الثقب. والمشكلة هي أن معادلات أينشتين تصبح عديمة الفائدة في اللحظة التي ندخل فيها الثقب الدودي؛ فالتأثيرات الكمية تتغلب هناك على الجاذبية.

ويأخذنا حل هذه المشكلة الدقيقة من التصحيحات الكمية للثقب الدودي إلى حقل جديد تماما. وفي نهاية المطاف، فإن حل مشكلة الدافع بالانحراف وآلات الزمن والجاذبية الكمية قد يتضمن حل «نظرية لكل شيء». لذا، فمن أجل تقرير ما إذا كانت الثقوب الدودية مستقرة فعلا، ولحل تناقضات آلات الزمن، على المرء أن يحلل نظرية الكوانتم إلى عواملها، ويتطلب هذا فهما للقوى الأساسية الأربع.

نحو نظرية لكل شيء

لقد كان تمييز القوى الأساسية الأربع في الطبيعة أحد أعظم إنجازات العلم الحديث، وهذه القوى هي: قوة الجاذبية (والتي تربط النظام الشمسي والمجرة أحدهما بالآخر)، والقوة الكهرومغناطيسية (والتي تشمل الضوء والرادار والراديو والتلفاز والميكروويف... وما إلى ذلك)، والقوة النووية الضعيفة (والتي تتحكم في التفكك الإشعاعي للعناصر)، والقوة النووية القوية

(والتي تجعل الشمس والنجوم تشع خلال الكون).

لقد جعل فهمنا للمعادلات الأساسية ـ التي تعتمد عليها كل هذه القوى ـ عددا من التنبؤات في هذا الكتاب ممكنا. وفي الحقيقية فإن المعادلات التي تصف كلا من القوى الأربع يمكن أن تكتب بحروف صغيرة على صفحة واحدة من هذه الصفحات. ومن المدهش أن نستطيع اشتقاق كل المعرفة الفيزيائية على المستوى الأساسي من هذه الصفحة من الورق. ولكن الإنجاز المتوج للـ ٢٠٠٠ عام السابقة من العلم ستكون «نظرية لكل شيء»، التي ستلخص هذه القوى الأربع في معادلة واحدة متناسقة ليست أطول من بوصة واحدة. لقد أمضى أينشتين السنوات الثلاثين الأخيرة من عمره يفتش عبثا عن هذه النظرية الأسطورية، وكان أول من أشار إلى هذا الطريق نحو التوحيد، ولكنه لم يوفق في ذلك.

إن «نظرية لكل شيء» لن تكون فقط سارة فلسفيا وجماليا، رابطة كل الأطراف المتباعدة في الفيزياء على شكل كتلة واحدة، ولكنها ستكون أيضا عونا كبيرا على حل بعض أكثر المشاكل الشائكة في الفيزياء، مثل فيما إذا كانت الثقوب الدودية موجودة، وفيما إذا كانت آلات الزمن ممكنة، وماذا يحدث في مركز الثقوب السوداء، ومن أين أتى الانفجار الأعظم؟

وستوضح النظرية الموحدة ـ أيضا ـ مقدار الطاقة والحركة اللتين يمكن لشخص ما بواسطتهما أن يتحكم في قوة الزمان والمكان. ويمكن لحضارة ناضجة من النوع الأول أو الثاني، تسيطر على طاقة أكبر بملايين المرات من تلك الموجودة على الأرض، أن تكون على عتبة السيطرة على الزمان والمكان. ولا يمكننا سوى أن نحلم بإحداث ثقوب في المكان أو بالقفز إلى البعد العاشر. أما بالنسبة لحضارة متقدمة في الفضاء، فقد تكون مثل هذه الأمور عادية جدا. وستفسر «نظرية لكل شيء» أيضا تناقضات الزمان التي ذكرت مسبقا. وإذا أمكن التحكم في التذبذبات الكمية حول ثقب دودي وجعلها مستقرة، فمن الممكن عندئذ العودة في الزمن وتغيير الماضي. ومع ذلك، فإن كونا «كميا» آخر سينفتح عند هذه النقطة، و«سينشطر» الزمن إلى نهرين يقود كل منهما إلى كون جديد. وإذا عدنا في الزمن إلى الوراء لإنقاذ إبراهام لنكولن في مسرح فورد، على سبيل المثال، فإن اتجاه الزمن سيتغير وسينقذ لنكولن في كون واحد فقط. ومع ذلك، فإن الكون الذي أتيت منه لن يتغير،

فلا يمكن تغيير ماضيك. لقد قمت فقط بإنقاذ حياة نظير كمي للينكولن موجود في كون كمي موازٍ. ومن الممكن بهذا الشكل الإجابة عن كل المفارقات المتعلقة بنظرية الكم، والموجودة في روايات الخيال العلمي.

قطبان متعاكسان

قال أينشتين مرة «لاترينا الطبيعة من الأسد سوى ذيله، ولكنني لا أشك مطلقا في أن أسدا وراء هذا الذيل، حتى ولو لم يتمكن بسبب حجمه الضخم من إظهار نفسه ولو مرة واحدة». وقد عنى أينشتين بذنب الأسد الكون كما ندركه، أما الأسد نفسه فهو نظرية المجال الموحد The Uinfied Field Theory الشهيرة، والتي لا نستطيع نحن البشر العاجزين أن نرى روعتها الكاملة. وتمثل نظريتان في الوقت الحاضر ذيل الأسد: وهما نظرية الكم (التي تصف القوى الكهرمغناطيسية والنووية الضعيفة والقوية)، ونظرية النسبية العامة (التي تصف الجاذبية). وقد جهد بعض أعظم العقول في فيزياء القرن العشرين مثل أينشتين وفيرنر هايزنبرج وفولفجانج باولي من أجل خلق نظرية مجال موحد، ولكنهم فشلوا في ذلك. إن هاتين النظريتين مؤسستان على افتراضات مختلفة، ومعادلات متباينة وتصور فيزيائي مختلف.

وفي السنوات الخمسين السابقة كانت هناك حرب باردة بين نظرية النسبية العامة ونظرية الكم: فلقد تطور كل منهما بشكل مستقل عن الآخر، وحققتا نجاحا لا نظير له، كل في مجاله. ومع ذلك فلابد أن تصطدم النظريتان ـ بالضرورة ـ مع بعضهما في لحظة الانفجار الأعظم، عندما كانت قوى الجاذبية ودرجات الحرارة كبيرة جدا، بحيث تمزقت الجسيمات أو في مركز الثقوب السوداء. فعند هذه الطاقات تصبح نظرية أينشتين عديمة الفائدة وتهيمن نظرية الكم. ويمكن للمرء أن يحسب درجة الحرارة التي تتغلب عندها التأثيرات الكمية على النسبية العامة. إنها عند درجة 10^{38} كلفن، والتي هي أكبر بتريليون تريليون مرة من درجة الحرارة في مركز انفجار قنبلة هيدروجينية. وفي الحقيقة يبدو أن هاتين النظريتين ـ الكم والنسبية العامة ـ متناقضتان تماما. ولكن من الصعب الاعتقاد بأن الطبيعة عند أعمق مستوياتها قد خلقت كونا لا تؤازر فيه اليد اليمنى اليد اليسرى.

وتقدم لنا النسبية العامة ـ على سبيل المثال ـ وصفا مقنعا للجاذبية والكون الكبير وعالم المجرات والثقوب السوداء والأكوان المتددة. إنها تقدم لنا نظرية جميلة حول الجاذبية، مبنية على سطوح ملساء منحنية. فالـ «قوى» تخلق من تشوه الزمان والمكان. وإذا شعر جسم بـ «قوة»، فإن هذا يرجع إلى أنه يتحرك في الفضاء المحني المحيط به. ومع ذلك فالنسبية العامة تحتوي على ثغرات؛ فالنظرية تتعطل عند مركز ثقب أسود، أو عند لحظة الانفجار الأعظم عندما يصبح انحناء الزمان والمكان لانهائيا. وبالمثل تقدم لنا نظرية الكم أكثر الأوصاف كمالا للكون المصغر، ذلك العالم الشبحي للجسيمات تحت الذرية. وتعتمد هذه النظرية على فكرة خلق «قوة» عن طريق تبادل حزم صغيرة ومستقلة من الطاقة تدعى «الكم» quantum. وتستبدل نظرية الكم بالصورة الهندسية الجميلة للنسبية العامة نقيضها تماما: حزما صغيرة جدا من الطاقة. وعلى سبيل المثال، فإن كم الضوء يدعى بالـ«فوتون»، ويدعى كم القوة النووية الضعيفة بالـ «بوزون» ويدعى كم القوة القوية «الجلون» فلكل قوة كمها المتميز الخاص بها.

ويعتمد الشكل الأكثر تطورا لنظرية الكم والمدعو بالنموذج القياسي على تجمع غريب ودقيق لجسيمات بأسماء غريبة (وجدت أعداد كبيرة من الجسيمات تحت الذرية في محطمات الذرة في الخمسينيات، بحيث غرق الفيزيائيون في بحر من الجسيمات. ومن شدة الإجهاد أعلن روبرت أوبنهايمر، الذي أدار مشروع القنبلة الذرية، أن جائزة نوبل التالية يجب أن تمنح للفيزيائي الذي لا يكتشف جسيما جديدا في تلك السنة!). لقد استطاع النموذج القياسي اليوم أن يخفض عدد الجسيمات تحت الذرية إلى الكواركات وبوزو -W-Z، والجلون وجزيئات هيجز والإلكترونات نيوتريونات. وربما كان النموذج القياسي أكثر النظريات الفيزيائية نجاحا على مدى كل العصور، لأنه يعيد إنتاج الطبيعة حتى جزء واحد بالبليون.

ولكن كما هي حال النسبية العامة، فإن النموذج القياسي يحتوي بدوره على ثغرات؛ فالنظرية تحتوي ١٩رقما (أي كتل الكواركات والإلكترونات والنيوتريونات وقوى تفاعلاتها)، والتي هي اعتباطية تماما. وهي لا تعطي أي تفسير لوجود ثلاثة «أجيال» أو نسخ للكواركات مسببة تكرار ثلاثي مثير للقلق، ولكن يستحيل تفسيره في الوقت الحالي. وهي أيضا أحد أقبح

النظريات التي اقتُرحت على الإطلاق، فجسيماتها لا تمتلك ـ كما يبدو ـ أي إيقاع أو معنى، ويمكن مقارنتها بتصوير خنزير الأرض وحوت وزرافة في شريط واحد، وتسمية المزيج الناتج مخلوق الطبيعة الأكثر رشاقة وجلالا، والمحصلة النهائية لملايين السنين من التطور. والأسوأ من ذلك أنها لا تقول شيئا عن الجاذبية. ولسوء الحظ فقد فشلت كل المحاولات لدمج هاتين النظريتين. ولقد حاولت نظرية كمية ساذجة عن الجاذبية أن تقسمها إلى حزم صغيرة جدا تدعى «جرافيتون». ولكن النظرية تنفجر عندما تصطدم هذه الجرافيتونات بعضها مع بعض وتنتج لا منتهيات. ولذا فإن الدمج الساذج لهاتين النظريتين عديم الفائدة. ولقد قهرت مشكلة اللامنتهيات هذه كل الجهود التي بذلت خلال الـ ٥٠ عاما الماضية.

الأوتار الفائقة

يعتقد معظم الفيزيائيين الرواد بوجود «نظرية لكل شيء». ويقارن ستيفن واينبرج الحاصل على جائزة نوبل هذا الوضع باكتشاف القطب الشمالي؛ فلقد عرف ملاحو القرن التاسع عشر أن مؤشرات بوصلاتهم، التي كانت تشير دوما إلى اتجاه الشمال تقترب نحو نقطة وحيدة. وبغض النظر عن مكان إبحارهم على الكرة الأرضية، فإن إبر بوصلاتهم كانت تشير إلى وجود بقعة أسطورية تدعى القطب الشمالي. ومع ذلك فلم يتم الوصول إلى القطب الشمالي إلا في أوائل القرن العشرين. وبالمثل فإن واينبرج يستنتج «إذا كان للتاريخ دور مرشد، فيبدو لي أنه يوحي بوجود نظرية نهائية واحدة».

وإلى الآن، فإن النظرية الوحيدة التي تستطيع إزالة هذه اللامنتهيات هي نظرية الوتر الفائق ذات الأبعاد العشرة: وهي النظرية التي أذهلت عالم الفيزياء، وأدهشت عالم الرياضيات بهندستها الأنيقة. ويتفق واينبرج مع موري جيل-مان حائز جائزة نوبل، والذي أسس نموذج الكوارك، على هذه النقطة. ولقد قال جيل-مان «لدينا الآن في نظرية الوتر الفائق مرشح لامع لنظرية موحدة لكل الجسيمات الأولية، بما في ذلك الجاذبية وتفاعلاتها».

لقد ذكر أينشتين ذات مرة أن كل النظريات العظيمة مبنية على صور فيزيائية بسيطة. وفي الحقيقة إذا لم تكن هناك صورة فيزيائية وراء النظرية، فمن

المحتمل أنها لا قيمة لها. ولحسن الحظ، فإن لنظرية الوتر الفائق صورة فيزيائية أنيقة كامنة خلف قواها السحرية: فأولا، يمكن للأوتار أن تهتز بصورة مشابهة لأوتار الكمان، ولا أحد يدعي أن نوتات وتر كمان (مثل A أو B أو C حاد) أساسية؛ فالكل يعلم أن ما هو أساسي هو وتر الكمان ذاته. وبالمثل يمكن أن يكون للوتر الفائق أنغام ورنين. ويكافئ كل اهتزاز جسيما تحت ذري في هذا التجمع من الجسيمات، التي نراها حولنا مثل الكواركات والإلكترونات والنيوتريونات... وغيرها، ولذا تستطيع نظرية الوتر الفائق أن تعطي وصفا بسيطا يعلل سبب وجود هذا التجمع العشوائي من الجسيمات تحت الذرية. في الحقيقة من المفترض أن يكون هناك عدد لا متناهٍ من هذه الجسيمات، تماما مثل وجود عدد لا متناه من اهتزازات وتر الكمان.

وإذاً كان لدينا مجهر فائق فقد نتمكن من رؤية الإلكترون، الذي يبدو أنه جسيم نقطي، على أنه في الحقيقة وتر مهتز صغير جدا، وعندما يهتز الوتر بأوضاع مختلفة، فإنه يصبح جسيما مختلفا أيضا. وبهذا الشكل فإن قوانين الفيزياء لم تعد سوى تناغمات للوتر الفائق، ولم يعد الكون سوى سيمفونية من الأوتار المهتزة (إن هذا يحقق من أحد الوجوه حلم الفيثاغوريين اليونان القدامى الأصلي، والذين كانوا أول من فهم قوانين تناغم الأوتار، وظنوا أنه من الممكن فهم الكون بكامله بواسطتها، غير أنه لا أحد يعلم - إلى الآن - الكيفية التي يتم بها ذلك).

وثانيا، فإن نظرية الوتر الفائق تتضمن نظرية أينشتين في الجاذبية. فبينما يتحرك الوتر في الزمان والمكان، يجبر الوسط المستمر المحيط به على الانحناء، كما توقع أينشتين تماما. ولذا فإن نظرية الوتر الفائق تعيد - من دون جهد - إنتاج كل تنبؤات النسبية العامة حول الثقوب السوداء والكون المتمدد.

البعد العاشر

إن أحد الجوانب الجميلة و(المثيرة للجدل) فكريا، في هذه النظرية، هي أنها صيغت في متصل زماني مكاني من ١٠ أبعاد. وفي الحقيقة فإنها النظرية الوحيدة المعروفة في العلم التي اختارت بعدها الخاص فيما يتعلق بالزمان والمكان. إن وضع أسس لنظرية في «فضاء متعدد الأبعاد» (أي له أكثر

من ثلاثة أبعاد) Hyper space، طريقة مناسبة لاستيعاب قوى على نحو مطرد الزيادة. ففي عام ١٩١٩ أدرك الرياضي ثيودر كالوزا أنه إذا أضفنا بعدا خامسا إلى نظرية أينشتين في الجاذبية ذات الأبعاد الأربعة، فإن العنصر الخامس للجاذبية سيعيد توليد القوة الكهرومغناطيسية لماكسويل، وبهذه الطريقة نرى أن اهتزازات البعد الخامس غير المرئية تعيد إنتاج خصائص الضوء. وبالمثل، فإن إضافة أبعاد متزايدة تمكننا من أن نعيد إنتاج قوى أعلى، مثل القوى النووية الضعيفة والقوية.

ولإدراك كيف توحّد إضافة أبعاد أعلى القوى الأساسية، فكر في الطريقة التي اعتاد بها الرومان القدامى شن حروبهم: ففي القديم كان الاتصال بين القوات التي تخوض المعارك على جبهات مختلفة عملية فوضوية ومرتبكة، حيث تحمل الرسائل بواسطة عدائين؛ وهذا هو السبب في أن الرومان كانوا يحبذون الذهاب إلى الأمكنة المرتفعة، أي إلى البعد الثالث بامتلاكهم هضبة: فمن نقطة مرتفعة على الهضبة يمكن للمرء أن يرى عددا من ساحات المعارك في الأسفل على شكل صورة واحدة متناسقة وموحدة. وبالمثل فمن إطلالة مرتفعة للبعد العاشر يمكن للمرء أن ينظر إلى الأسفل ليرى القوى الأساسية الأربع على شكل قوة وحيدة فائقة.

لقد جرى أخيرا فيض من النشاط في بحوث الوتر الفائق حول البعد الحادي عشر. وقد أظهر إدوارد ويتين من معهد الدراسات المتقدمة في برنستون، وبول تاونسند من جامعة كامبريدج أن العديد من الأسرار في نظرية الوتر الفائق تصبح واضحة إذا صيغت النظرية في أحد عشر بعدا، وقد دعاها ويتين «نظرية M» (ولأن خصائص نظرية M غير مفهومة بالكامل من قبل الفيزيائيين، فإن M ترمز إلى «سر» أو «سحر» أو «غشاء»، ويمكنك أن تختار من هذه ما تشاء).

المشكلة الأساسية في نظرية الوتر الفائق في الوقت الحاضر هي أنه تم إيجاد ملايين الحلول لها، ولكن لم يوجد إلى الآن حل يطابق تماما الطيف المعروف من الكواركات والجلونات والنيوتريونات... وغيرها. وقد يئس كثير من الناس من اكتشاف (كل) الحلول لنظرية الوتر الفائق من أجل اكتشاف الكون الذي نعيش فيه. ومع ذلك تمتلك نظرية M نوعا جديدا من التناظر يدعى «ثنائية»، يسمح لنا بإيجاد حلول لنظرية الوتر لم تكن متاحة مسبقا (وهي ما تدعى حلولا «غير مشوشة». وقد يكون كوننا أو عالمنا الفيزيائي أحد

هذه الحلول). وفي الحقيقة فبإرجاع نظرية M إلى أبعاد أكثر انخفاضا عثر الفيزيائيون الآن على المجموعة الكاملة تقريبا للأكوان ثمانية الأبعاد المحتملة. ويكمل الفيزيائيون الآن بسرعة تحليلا للأكوان سداسية الأبعاد المحتملة أيضا. والمشكلة التالية، التي قد تستغرق سنوات من الجهد الشاق هي إيجاد كل الأكوان رباعية الأبعاد، ومعرفة إذا كان كوننا من بين هذه الأكوان.

إن أحد الجوانب المدهشة لنظرية M هو أنها صيغت بـ ١١ بعدا، وبالتالي سمحت بوجود أجسام غريبة أخرى تدعى الأغشية Membranes. ويبدو الآن أن الأوتار تتعايش مع أنواع مختلفة من الأغشية في الفضاء الأعلى. لقد ولدت كل هذه الاكتشافات الحديثة اهتماما كبيرا بنظرية الأوتار الفائقة.

ما الذي حدث قبل الانفجار الأعظم؟

لا تحل نظرية الكم في الجاذبية مسألة ماذا يحدث في مركز ثقب أسود فقط، ولكنها تحل أيضا مشكلة ماذا حدث قبل الانفجار الأعظم. وهناك في الوقت الحاضر دليل قاطع على أن انفجارا رهيبا حدث منذ ١٥ بليون سنة مضت تقريبا، قذف المجرات إلى كل الاتجاهات في الكون. وقد تنبأ الفيزيائي جورج جامو وزملاؤه - منذ عقود عدة - أن «صدى» الانفجار الأعظم أو اللمعان الذي أعقبه يجب أن يكون مالئا الكون إلى اليوم، مشعا عند درجة حرارة أعلى بقليل من الصفر المطلق. ومع ذلك، فإن هذا الأمر لم يثبت حتى عام ١٩٩٢، عندما التقط القمر كوزميك باكجراوند إكسبلورر «كوب» أخيرا هذا «الصدى» للانفجار الأعظم، وقد سُرّ الفيزيائيون لأنهم وجدوا مئات من نقاط المعلومات انطبقت تماما على توقعات النظرية. وقد اكتشف القمر كوب وجود إشعاع ميكروويف في الخلفية عند ٣ درجات فوق الصفر المطلق يملأ الكون بكامله.

وبالرغم من أن نظرية الانفجار الأعظم مؤسسة على أسس تجريبية ثابتة، إلا أن الخاصية المقلقة لنظرية أينشتين هي أنها لا تقول شيئا حول ما حدث قبل الانفجار الأعظم، أو لماذا كان هناك انفجار كوني. وفي الحقيقة فإن نظرية أينشتين تقول بأن الكون كان أصلا نقطة صغيرة ذات كثافة لا متناهية، وهذا مستحيل فيزيائيا. إن الطبيعة لا تسمح بالتفردات اللامتناهية؛ ولذا على نظرية

كمية في الجاذبية أن تعطينا ـ في النهاية ـ دليلا على كيفية حدوث الانفجار الأعظم. وتعطينا نظرية الوتر الفائق، التي هي نظرية متناهية، فهما أعمق لحقبة ما قبل الانفجار الأعظم. تنص النظرية على أن الكون كان في الحقيقة عند لحظة الخلق فقاعة متناهية في الصغر، ذات أبعاد عشرة. ولكن هذه الفقاعة ـ التي تشبه إلى حد ما فقاعة الصابون ـ انشطرت إلى فقاعات بـ ستة أبعاد وأخرى بـ أربعة أبعاد. وفجأة انهار الكون ذو الأبعاد الستة، مما مدد الكون ذا الأبعاد الأربعة إلى الانفجار الأعظم القياسي.

والأبعد من ذلك، فإن هذه الإثارة حول تكميم الجاذبية يعطي دفعا لفرع جديد في الفيزياء يدعى «علم الفلك الكمي» الذي يسعى إلى تطبيق نظرية الكم على كامل الكون. وفي البداية يبدو تعبير علم الفلك الكمي مصطلحا متناقضا؛ فـ «الكم» يتعامل مع الصغير جدا، بينما الفلك يتعامل مع الكبير جدا، وهو الكون بحد ذاته. ومع ذلك فقد كان الكون عند لحظة الخلق صغيرا جدا، بحيث سيطرت التأثيرات الكمية عند تلك اللحظة المبكرة من الزمن.

ويرتكز علم الفلك الكمي على المبدأ البسيط القائل بأن علينا معاملة الكون كشيء كمي بالطريقة ذاتها التي نعامل بها الإلكترون، ففي نظرية الكم يعامل الإلكترون على أنه موجود بعدة مستويات من الطاقة في نفسه الوقت ، والإلكترون يتحرك بحرية بين مدارات ومستويات طاقة مختلفة. ويعطينا هذا بدوره كيمياء حديثة؛ ولذا فحسب مبدأ عدم التمدد عند هايزنبرج، فإنك لن تعرف تماما أين يوجد الإلكترون، ولذا فالإلكترون يوجد في عدد من الحالات المتوازية في الوقت ذاته. والآن افترض أن الكون مماثل لإلكترون. فإذا كممنا الكون، فإنه سيوجد الآن في «أكوان متوازية» عدة. وعندما نكمم الكون، فإننا سنوجَّه بالضرورة للاعتقاد في أن الكون يمكن أن يُوجد بحالات كمية متوازية. وعندما نطبق هذه على كون، تعطينا «كونا متعددا».

الكون المتعدد

وبحسب هذه الصورة الجديدة المذهلة لم يكن هناك شيء في البداية. لا مكان ولا زمان لا مادة ولا طاقة، ولكن كان هناك مبدأ الكم، الذي يقول بأنه يجب أن يكون هناك عدم تحدد، ولذا فحتى العدم أصبح غير مستقر، وبدأت

جسيمات صغيرة جدا من «شيء» في التشكل. وعلى سبيل التشبيه فكر في غليان الماء، إن هذا يمثل ظاهرة محضة من ظواهر ميكانيكا الكم: فالفقاعات التي يبدو أنها تأتي من العدم، تتمدد فجأة وتملأ الماء. وبالمثل فإن «اللاشيء» أو العدم في هذه الصورة يبدأ في الغليان. وتبدأ فقاعات صغيرة في التشكل، ثم تتمدد بسرعة. وبما أن كل فقاعة تمثل كونا كاملا، فإننا نستخدم تعبير «الكون المتعدد لوصف هذا التجمع اللامتناهي من الأكوان. وبحسب هذه النظرية، فإن كوننا هو واحد من هذه الفقاعات، وقد دعي هذا التمدد بالانفجار الأعظم. وقد يبدو لأول وهلة أن خلق فقاعات لـ «شيء» في محيط واسع من «اللاشيء» يخترق مبدأ حفظ المادة والطاقة. ولكن هذا وهم لأن محتوى الكون من المادة والطاقة موجب، بينما طاقة الجاذبية سالبة، ولذا فإن حاصل جمع هاتين الطاقتين يساوي الصفر. إذن، فلا حاجة إلى طاقة صرفة لخلق كون من «لا شيء»!

وقد أعطى فيزيائيون مختلفون تفسيرهم الخاص لهذه الصورة. ويعتقد عالم الكون ستيفن هوكنج أن كوننا ربما كان الأكثر احتمالا من كل الأكوان اللامتناهية. وحسب هذه الصورة فإننا نتعايش مع بحر لامتناه من فقاعات أخرى (يدعوها هوكنج أكوانا وليدة)، ولكن كوننا مميز فهو الأكثر استقرارا، وبالتالي فوجوده هو الأكثر احتمالا. وهو يعتقد أن كل هذه الأكوان الوليدة مرتبطة بعضها مع بعض بشبكة لامتناهية من ثقوب دودية غير سميكة (في الحقيقة قد استطاع عن طريق إضافة مساهمة هذه الثقوب الدودية تقديم الحجة لماذا كان كوننا الحالي مستقرا جدا). إن هذه الثقوب صغيرة جدا، لذا فلا داعي لأن نقلق بشأن الوقوع في إحداها؛ وأن نجد أنفسنا في كون مواز لكوننا.

ويجد ستيفان فاينبرج فكرة الكون المتعدد فكرة جذابة «إنني أجد هذه الصورة مغرية ومن الجدير التفكير فيها بجدية أكبر. إن إحدى النتائج المهمة هي أنه لم تكن هناك بداية و وأنه كانت هناك انفجارات عظمى ضخمة بصورة متزايدة، بحيث يستمر الكون المتعدد إلى الأبد، لا يضطر المرء إلى حل مشكلة هذا الكون قبل الانفجار الأعظم. لأن الكون المتعدد كان هنا طيلة الوقت. إنني أرى هذا على أنه صورة مرضية تماما» (يبدو أن نظرية الكون المتعدد قادرة على توحيد الوصف المسيحي ـ اليهودي لنشأة الكون، الذي يبدأ

ببداية محددة، والنظرية البوذية للنيرفانا، التي تبدأ بكون لا زمني: ففي هذه الصورة نكون أمام نشوء مستمر للكون من خلال النيرفانا).

ولكن واينبراج يعتقد أن العديد من هذه الأكوان المتوازية ميت. أي أن البروتون غير مستقر فيها، وبذا لا يوجد الـ «د.ن.أ» أو مادة مستقرة. وبالرغم من أن كل فقاعة قد تمثل كونا قابلا للحياة، إلا أن معظمها ربما كان غير مثير للاهتمام، ومؤلف من بحر من الإلكترونات والنيوتريونات من دون أي مادة مستقرة.

وتتمثل إحدى مزايا هذه الصورة في أنها تقدم حلا لأحد أغرب النواحي التجريبية لكوننا. فمن المعروف - على سبيل المثال - أن الثوابت الفيزيائية للكون تقع ضمن مجال ضيق جدا، وإذا انحرفت هذه الثوابت (مثل كتل الجسيمات تحت الذرية المختلفة وعمليات اقترانها) قليلا، فستدب الفوضى وستكون الحياة مستحيلة: سيتفكك البروتون وستصبح النواة غير مستقرة ولن تتمكن الـ «د.ن.أ» من التشكل، ولن تحدث حياة مبنية على عنصر الكربون على ظهر الأرض.

ولا يعد هذا لغوا تافها، فلقد وجد حتى الآن أن كل ثابت فيزيائي مهم اختُبر يقع ضمن هذه المنطقة الضيقة التي تلائم وجود الحياة، ويدعى هذا بالمبدأ الإنساني الذي يتلخص في أن الثوابت الفيزيائية تجعل الحياة ممكنة. لقد رد بعض العلماء بأن هذا الأمر مجرد مصادفة، ولكن من الصعب تصديق ذلك. كما ناقش آخرون أن هذا يوحي بوجود عناية كونية اختارت هذا الكون لكي تكون له تلك الثوابت الفيزيائية، بحيث تتيح نشوء الحياة والوعي. ولكن تفسيرا جديدا بدأ يظهر ضمن موضوع الكون المتعدد.

فإذا كان هناك فعلا عدد لامتناهٍ من الأكوان، فإن الثوابت الفيزيائية في الأكوان الأخرى ستكون مختلفة حقًا. وكما يذكر واينبرج من المحتمل أن هذه الأكوان الأخرى ما هي إلا بحار ميتة من الإلكترونات نيوتريونات Neutrinos. ولكن توجد بالمصادفة أكوان تجعل ثوابتها الفيزيائية الأساسية الـ «د.ن.أ» المستقر ممكنا. ومن المصادفة أن كوننا هو أحد هذه الأكوان، مما يفسر لماذا نحن هنا لنناقش هذه القضية في المقام الأول؛ وبعبارة أخرى، فإن فكرة «الكون المتعدد» تفسر ببساطة لماذا يجب أن ينطبق المبدأ الإنساني.

المستقبل البعيد: مصير الكون

لن تكون أي مناقشة للمستقبل تامة من دون أن تتعرض للمستقبل البعيد، وهو مصير الكون في حد ذاته. ونستطيع باستخدام قوانين الفيزياء أن نضيق احتمالات المستقبلات الممكنة، التي تمتد أمامنا في البليون عام القادمة، أو ما يقرب من ذلك. لقد كانت فقاعتنا تتمدد منذ حوالى ١٥ بليون سنة، ولكن العلماء ليسوا واثقين إلى متى يمكن لهذا التمدد أن يستمر، وليس من الواضح فيما إذا كان الكون سيموت في نهاية الأمر في الجليد أم في النار.

وإذا كانت كثافة الكون فوق نقطة حرجة معينة، فقد يخلق هذا جاذبية قوية تكفي لتعكس التمدد الكوني. وسيصبح الانحراف الحالي لضوء النجوم نحو الأحمر - الذي نشاهده الآن في السماء تدريجيا - انحرافا أزرق، بينما توقف الجاذبية تمدد المجرات أو حتى تعكس اتجاهه. وعندما يحدث التقلص تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع تدريجيا. وبعد ملايين السنين تبدأ المحيطات في الغليان، وتنصهر الكواكب وتنضغط النجوم والمجرات إلى ذرة أولية عملاقة. وبحسب هذا السيناريو سينهار الكون بكامله إلى مضغة ضخمة ويموت ملتهبا.

ومن ناحية أخرى، فإذا لم تكن هناك مادة كافية، فإن الكون سيتوسع إلى الأبد بحيث يصبح أبرد فأبرد تدريجيا كنتيجة محتمة للقانون الثاني في الديناميكا الحرارية. وبحسب هذا السيناريو سيتألف الكون في النهاية من نجوم ميتة وثقوب سوداء بينما تنخفض درجات الحرارة إلى قرب الصفر المطلق. وبعد تريليونات السنين تتبخر حتى الثقوب السوداء، ويتخافت الكون إلى غاز من الإلكترونات والنيوتريونات وفي هذا السيناريو الذي يدعى التبرد الأعظم أو الموت الإنتروبي Entropy، فإن الكون يموت متجمدا.

في الوقت الحالي، فإن العلماء غير متأكدين أي من الرأيين هو الصحيح، فكمية المادة المرئية في الكون غير كافية لعكس التمدد، لذا فقد اعتقد علماء الفلك منذ مدة طويلة أن الكون سيتمدد إلى الأبد. ولكن الفلكيين اقتنعوا أخيرا بأن حوالى ٩٠ في المائة من المادة - في الكون - هي على شكل «مادة سوداء» غير مضيئة. إن هذه المادة السوداء الغامضة التي لم يرها أحد قط لها كتلة ولكنها غير مرئية. وبحسب هذه الصورة الجديدة فإن المادة السوداء

تحيط بالمجرات وتمنعها من أن تطير في كل اتجاه في أثناء دورانها. وبما أننا لا نعرف بالضبط كمية المادة السوداء الموجودة في الكون، فإننا لا نستطيع القول بكل تأكيد إذا كان هناك ما يكفي منها لعكس التمدد الكوني.

ومهما كانت الطريقة، فإن الكون سيموت في النهاية، وستموت كل الحياة العاقلة معه. ولاشيء على ما يبدو يمكنه أن يفلت من موت الكون ذاته، بما في ذلك حضارات النوع الثالث. فإما أن تحترق هذه الحضارات عندما تفشل آلاتها في إيقاف درجات الحرارة من الارتفاع إلى ما نهاية، أو أنها ستتجمد عندما تتوقف آلاتها وتهبط درجات حرارتها إلى الصفر. وعلى الرغم من أن حضارات من النوع الثالث يمكنها أن تسيطر على طاقة مجرة، إلا أن هذه الطاقة لا تزال غير كافية لعكس موت الكون.

ولذا يبدو أن على الكون في كلا الوضعين أن يموت، وعلى الحياة العاقلة أن تموت معه. مثل هذه النهاية تبدو كأقصى ما يمكن من العبث الوجودي. فالحياة العاقلة التي جاهدت عبر ملايين السنين كي تنهض من الوحل وتصل إلى النجوم، فقط ستنتهي عندما يموت الكون نفسه.

ولكن هناك ثغرة في هذه الصورة القاتمة، فهناك احتمال بأن تصل الحضارات في الفضاء في نهاية الأمر إلى حضارة من النوع الرابع يكون في إمكانها التحكم - حسب رغبتها - في البعد الرابع للعلم، وهو استمرارية الزمكان. وحضارة من هذا النوع ستكون قادرة على توسيع الثقوب الدودية، التي تربط الأكوان المختلفة باستمرار، مما يسمح لها بأن تنتقل بين الأكوان. وإذا سيطرت هذه الحضارات على الطاقة الهائلة اللازمة لخلق هذه الثقوب الضخمة بين الأكوان، فإنها ستكون قادرة على إيجاد طريقها والهرب خلاله من موت كونها.

وإذا كان الأمر كذلك فإن نظرية «كل شيء»، والتي بدت في البداية عديمة الفائدة وخالية من التطبيقات العملية، قد توفر الخلاص للحياة العاقلة في الكون.

خاتمة

عندما تمشى إسحق نيوتن على شاطئ البحر، ملتقطا الأصداف، فإنه لم يكن يدرك أن هذا المحيط الواسع من الحقيقة غير المكتشفة الممتد أمامه

سيحتوي على مثل هذه الأمور العلمية المدهشة. وربما لم يكن بإمكانه التنبؤ باليوم الذي تتحقق فيه القدرة على اكتشاف الكثير من أسرار الحياة والذرة والعقل. أما اليوم فقد أعطى ذلك المحيط الكثير من أسراره. وهناك الآن محيط جديد ينكشف أمامنا، وكما رأينا فهو محيط مدهش من الاحتمالات والتطبيقات العلمية. وربما سنرى خلال سني حياتنا عددا من هذه الإنجازات العلمية تتحقق أمامنا. ولأننا لم نعد مراقبين محايدين لرقص الطبيعة، فنحن على وشك أن نصبح مخططين فاعلين لها. ومع اكتشاف القوانين الأساسية للكم الـ «د ن أ» والكمبيوتر، فإننا الآن بصدد القيام برحلة أكبر بكثير. وهي رحلة تعد بأن تقودنا في النهاية إلى النجوم. وبينما يزداد فهمنا للبعد الرابع، الزمكان، فإن هذا يفتح لنا إمكان أن نصبح سادة للزمان والمكان في المستقبل البعيد.

وما لم تحدث كارثة طبيعية أو حرب أو انهيار بيئي، فإننا في طريقنا نحو تحقيق القدرة الكوكبية لحضارة من النوع الأول، والتي ستجعلنا مجتمعا كوكبيا حقا في القرن الحادي والعشرين، أو بعده. إن قوة الثورات الثلاث هي التي ستجعل هذا الأمر ممكنا. وفي نهاية المطاف، فإن هذه الثورات ستمكننا من تحقيق مصيرنا وأخذ مكاننا بين النجوم. إن قطف ثمار هذه الثورات العلمية هو الخطوة الأولى نحو جعل الكون الفناء الخلفي لبيتنا حقا.

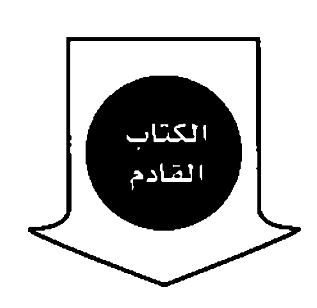


المؤلف في سطور

* ميتشيو كاكو
* أستاذ كرسي «هنري سيمات» للفيزياء النظرية في سيتي كوليج في نيويورك. وهو أحد علماء الفيزياء البارزين على المستوى الدولي، ومن مؤسسي نظرية مجال الأوتار، ومؤلف كتاب الفضاء المتعدد الأبعاد الذي أشيد به كثيرا وكان الأكثر مبيعا.
* من مؤلفاته «ما بعد أينشتَين» و«نظرية المجال الكمي: مقدمة حديثة» و«مدخل إلى نظرية الأوتار الفائقة الدقة». وله برنامج علمي يبث إذاعيا في جميع أنحاء الولايات المتحدة لمدة ساعة أسبوعيا.
* تخرج في جامعة هارفارد، وحصل على دكتوراه الفلسفة من جامعة باركلي.

المترجم في سطور

* د. سعد الدين خرفان
* من مواليد حمص/ سوريا عام ١٩٤٦.
* بكالوريوس شرف في الهندسة الكيميائية من جامعة ليدز/ بريطانيا عام ١٩٦٩، وماجستير في البتروكيمياء من جامعة مانشستر/بريطانيا عام ١٩٧٠، ودكتوراه في هندسة المفاعلات من جامعة نيو كاسل/بريطانيا عام ١٩٧٦.



التنين الأكبر

الصين في القرن الواحد والعشرين

تأليف: دانييل بورشتاين

أرني دي كيزار

ترجمة: شوقي جلال

* أستاذ في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث/ سوريا، ومدير بحوث في هيئة الطاقة الذرية السورية.
* له أكثر من ١٦ مؤلفا في الهندسة الكيميائية والحاسوب والإدارة والبيئة والطاقة.
* قدم أكثر من ٤٠ بحثا في مؤتمرات علمية، ونشر أكثر من ٢٠ بحثا في مجلات علمية متخصصة.

المراجع في سطور:

* محمد يونس
* صحافي بوكالة أنباء الشرق الأوسط المصرية.
* ليسانس آداب عام ١٩٦٩.
* عمل مترجما ومراجعا ومحررا بوكالة رويترز و وكالة الأنباء الألمانية (د. ب. أ) وعدد من الصحف والمجلات المصرية والعربية من بينها: الثقافة، والفكر المعاصر، والفكر العربي المعاصر، و «الثقافة العالمية» الكويتية، و«الاقتصادية» السعودية، وغيرها.
* ترجم وراجع عددا من الكتب من بينها «الاشتراكية والقيم الإنسانية» لموريس كورنفورث، دار الفن والأدب ـ بيروت عام ١٩٧٣، و«الفرويديون الجدد» تأليف ب. دوبرينكوف، دار الفارابي ـ بيروت عام ١٩٨٨، و«المجتمع المدني والصراع الاجتماعي» تأليف: ألين مكسنزوود وآخرين، مركز الدراسات والمعلومات القانونية لحقوق الإنسان ـ القاهرة عام ١٩٩٧، و«الذكاء العاطفي» تأليف: دانييل جولمان، سلسلة «عالم المعرفة»، العدد ٢٦٢ ـ أكتوبر ٢٠٠٠.
* صدر له أخيرا كتاب «التكفير بين الدين والسياسة»، مركز القاهرة لدراسات حقوق الإنسان ـ عام ١٩٩٩.

سلسلة عالَم المعرفة

«عالم المعرفة» سلسلة كتب ثقافية تصدر في مطلع كل شهر ميلادي عن المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ دولة الكويت ـ وقد صدر العدد الأول منها في شهر يناير العام ١٩٧٨.

تهدف هذه السلسلة إلى تزويد القارئ بمادة جيدة من الثقافة تغطي جميع فروع المعرفة، وكذلك ربطه بأحدث التيارات الفكرية والثقافية المعاصرة. ومن الموضوعات التي تعالجها تأليفا وترجمة :

١ ـ الدراسات الإنسانية : تاريخ ـ فلسفة ـ أدب الرحلات ـ الدراسات الحضارية ـ تاريخ الأفكار.

٢ ـ العلوم الاجتماعية: اجتماع ـ اقتصاد ـ سياسة ـ علم نفس ـ جغرافيا ـ تخطيط ـ دراسات استراتيجية ـ مستقبليات.

٣ ـ الدراسات الأدبية واللغوية : الأدب العربي ـ الآداب العالمية ـ علم اللغة.

٤ ـ الدراسات الفنية : علم الجمال وفلسفة الفن ـ المسرح ـ الموسيقا ـ الفنون التشكيلية والفنون الشعبية.

٥ ـ الدراسات العلمية : تاريخ العلم وفلسفته ، تبسيط العلوم الطبيعية (فيزياء، كيمياء، علم الحياة، فلك) ـ الرياضيات التطبيقية (مع الاهتمام بالجوانب الإنسانية لهذه العلوم)، والدراسات التكنولوجية.

أما بالنسبة لنشر الأعمال الإبداعية ـ المترجمة أو المؤلفة ـ من شعر وقصة ومسرحية، وكذلك الأعمال المتعلقة بشخصية واحدة بعينها فهذا أمر غير وارد في الوقت الحالي.

وتحرص سلسلة «عالم المعرفة» على أن تكون الأعمال المترجمة حديثة النشر.

وترحب السلسلة باقتراحات التأليف والترجمة المقدمة من المتخصصين، على ألا يزيد حجمها على ٣٥٠ صفحة من القطع المتوسط، وأن تكون مصحوبة بنبذة وافية عن الكتاب وموضوعاته وأهميته ومدى جدته. وفي حالة الترجمة ترسل نسخة مصورة من الكتاب بلغته الأصلية، كما ترفق مذكرة بالفكرة العامة للكتاب، وكذلك يجب أن تدوّن أرقام صفحات الكتاب الأصلي المقابلة للنص المترجم على جانب الصفحة المترجمة، والسلسلة لا يمكنها النظر في أي ترجمة ما لم تكن مستوفية لهذا الشرط. والمجلس غير ملزم بإعادة المخطوطات والكتب الأجنبية في حالة الاعتذار عن عدم نشرها. وفي جميع الحالات ينبغي إرفاق سيرة ذاتية لمقترح الكتاب تتضمن البيانات الرئيسية عن نشاطه العلمي السابق.

وفي حال الموافقة والتعاقد على الموضوع ـ المؤلف أو المترجم ـ تصرف مكافأة للمؤلف مقدارها ألف وخمسمائة دينار كويتي، وللمترجم مكافأة بمعدل عشرين فلسا عن الكلمة الواحدة في النص الأجنبي، أو ألف ومائتي دينار أيهما أكثر (وبحد أقصى مقداره ألف وستمائة دينار كويتي)، بالإضافة إلى مائة وخمسين دينارا كويتيا مقابل تقديم المخطوطة ـ المؤلفة والمترجمة ـ من نسختين مطبوعتين على الآلة الكاتبة.



هذا الكتاب

لقد كان للعلم والثقافة أثر بارز في حياة الإنسان وتطوره على مر العصور. وتدل التجربة على تقدم الأمم التي اعتمدت على العلم في بناء حضارتها، وتخلف تلك التي لم تدرك أهميته. ولقد شهد القرن العشرون تراكما علميا ضخما شمل كل مناحي الحياة. فإلى أين يقودنا العلم في القرن الواحد والعشرين؟

يتناول هذا الكتاب موضوع العلم في القرن الواحد والعشرين، وقد قابل مؤلفه ميتشيو كاكو، وهو أحد مؤسسي نظرية الأوتار الفائقة في الفيزياء، وحائز جائزة نوبل، أكثر من ١٥٠ عالما على مدى عشر سنوات. وبناء على آرائهم وتجاربهم وبحوثهم استقرأ الاتجاهات التي سيسير عليها العلم في القرن الواحد والعشرين. ويعتمد الكاتب في تحليله على تقسيم التقدم العلمي إلى ثلاث ثورات وهي: الثورة المعلوماتية والثورة البيوجزيئية وثورة الكم. ومع ذلك فهو يشير في أكثر من موضوع إلى انتهاء عصر التخصص الضيق والاختزال في العلم، وبداية مرحلة جديدة تتصف بالتعاون المثمر بين المجالات المختلفة وتلاقح الثورات الثلاث.

لقد كتب هذا الكتاب بلغة واضحة بسيطة، وتناول كثيرا من النظريات المعقدة بطريقة شائقة وبضرب أمثلة محسوسة. وهو يقدم للقارئ المثقف مادة مشوقة تفتح عينيه على الاحتمالات الهائلة للعلم في المستقبل، وتطلعه على ما يجري حاليا في المختبرات ومراكز البحوث العلمية العديدة المنتشرة في العالم.



ردمك ٠ ـ ٠٦٠ ـ ٠ ـ ٩٩٩٠٦